Aus der Orthopädischen und Physikalischtherapeutischen Abteilung
des Städt. Rudolf-Virchow-Krankenhauses
Direktor: Priv.Doz. Dr. med. F. Hofmeister

CLAVICULAVERLETZUNGEN
DIE PROBLEMATIK IHRER THERAPIE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER FUNKTIONELLEN ANATOMIE DES SCHULTERGÜRTELS

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Wolfgang Heß
aus Hahnenklee Bockswiese

1971

Aus der Orthopädischen und Physikalischtherapeutischen Abteilung
des Städt. Rudolf-Virchow-Krankenhauses
Direktor: Priv.Doz. Dr. med. F. Hofmeister

CLAVICULAVERLETZUNGEN
DIE PROBLEMATIK IHRER THERAPIE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER FUNKTIONELLEN ANATOMIE DES SCHULTERGÜRTELS

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Wolfgang Heß
aus Hahnenklee Bockswiese

Referent: Priv. Doz. Dr. med. F.Hofmeister

Korreferent: Prof. Dr. med. G.Friedebold

UNIV. LEIDEN BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 30. August 1971

CLAVICULAVERLETZUNGEN - DIE PROBLEMATIK IHRER THERAPIE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER FUNKTIONELLEN ANATOMIE DES SCHULTERGÜRTELS

Einleitung

Geschichtlicher Überblick

Deskriptive Anatomie

Entwicklungsgeschichte

Funktionelle Anatomie

Die Schlüsselbeinverletzungen und ihre Therapie
mit Kasuistik

Diskussion

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547205_0068

EINLEITUNG

Die obere Extremität ist durch das Schlüsselbein und seine Gelenke mit dem Sternum bzw. Thorax verbunden. Es ist die einzige knöchern-gelenkige Verbindung zwischen Schultergürtel und Rumpf. Diese Tatsache erklärt die Häufigkeit der Claviculaverletzung. Alle Gewalteinwirkungen auf die obere Extremität oder den Schultergürtel, deren Energie sich nicht in einem lokalen Trauma verbraucht oder verbrauchen kann, werden auf das Schlüsselbein und seine Gelenke fortgeleitet und führen dort als indirekte Gewalteinwirkung oft zu Verletzungen. Direkte Traumatisierungen sind sehr viel seltener. Die anatomische Konstellation im Schultergürtel sowie die oberflächliche Lage disponieren die Clavicula zu einem leicht verletzbaren Knochen. 10 bis 15 % aller Frakturen, 6,5 % aller Luxationen spielen sich am Schlüsselbein ab.

Bei Jugendlichen treten Claviculaverletzungen sehr häufig während des Sports auf. Besonders oft werden in der Anamnese Fußball, Handball, Rugby, Skilaufen, Reiten und Fallschirmspringen angegeben. Bei den älteren Menschen stehen an erster Stelle die Verkehrsunfälle, es folgen die Arbeits- und Haushaltsunfälle. Bei den Verkehrsunfällen sind hauptsächlich Verkehrsteilnehmer ohne äußeren Schutz, wie Motorrad-, Radfahrer und Fußgänger betroffen. Claviculaverletzungen als Arbeitsunfälle entstehen bei Schwerarbeitern, gehäuft bei den unter Tage Arbeitenden durch Verschüttungen, Steinschlag oder direkten Fall von schweren Gegenständen auf die Schulter. In der Gesamtstatistik der Schlüsselbeinfrakturen für alle Altersgruppen machen die Verkehrsunfälle 53,5 %, Betriebsunfälle 18 %, Sportunfälle 13,5 %, sonstige Unfälle 15 % aus.(W.Wehner)

Eine genaue Unterscheidung zwischen direktem und indirektem Trauma stößt bei den komplizierten Unfallmechanismen oft auf Schwierigkeiten. Ganz allgemein kann man sagen, daß direkte Traumata zu ausgeprägten lokalen Nebenverletzungen führen. Für die Claviculafraktur gilt, daß eine indirekte Gewalteinwirkung die S-förmige Verstrebung zwischen Schultergürtel

und Rumpf am ehesten an ihrer schwächsten Stelle, nämlich zwischen mittlerem und äußerem Drittel frakturieren läßt. Elliason macht 94 % indirekte Traumatisierungen für die Claviculafraktur verantwortlich. In ähnlicher Größenordnung liegen die Verhältnisse bei der Luxation des Acromioclaviculargelenkes. Nur die seltenen Luxationsformen werden fast ausschließlich durch direkte Gewalteinwirkung hervorgerufen.

Die Claviculafraktur ist eine der häufigsten Frakturen, und die Luxationen an den Claviculagelenken sind ebenfalls nicht selten; beide Verletzungsarten sind infolge zunehmender Industrialisierung und Motorisierung noch im Ansteigen begriffen. Diese Tatsache müßte annehmen lassen, daß die Therapie der Claviculaverletzungen heutzutage eine mehr oder weniger einheitliche ist,und die Indikationen für verschiedene therapeutische Maßnahmen klar abgegrenzt sind. Aber auf dem Gebiet der Behandlung von Schlüsselbeinfrakturen und -luxationen besteht eine große Uneinigkeit. In der Literatur sind über 200 Methoden (Key) konservativer Maßnahmen bei der Claviculafraktur beschrieben. Obwohl man heute diese Vielzahl auf ungefähr 15 bis 20 Methoden zusammenstreichen kann, wird doch deutlich, daß es noch keine konservative Intervention gibt, die den Ansprüchen der Mehrzahl der Chirurgen genügt. Vor 20 bis 30 Jahren diskutierte man, welche konservative Methode wohl die zweckmäßigste sei. Diese Frage ist heute ebenfalls noch offen.

Die Hauptdiskussion entfacht sich aber an dem Problem, ob und wann man konservativ oder operativ bei Schlüsselbeinverletzungen vorgehen soll. Autoren, die die Claviculafraktur rein konservativ behandeln (Anderson, Kusminski, Titova), sind in der Literatur seltener geworden. Die meisten Chirurgen wägen die beiden Interventionsmöglichkeiten für die Claviculafraktur individuell ab, wobei die Frakturkomplikationen, die eine Indikation zum operativen Vorgehen darstellen, im allgemeinen klar abgegrenzt sind. Crone-Münzebrock hält dagegen operative Maßnahmen für alle Claviculafrakturen indiziert, abgesehen von Frakturen bei Säuglingen und Kindern. Bei den Luxationen sind die verschiedenen Autoren im großen und ganzen der Meinung, daß Luxationen operativ und Subluxationen konservativ behan-

delt werden sollten. Nur über die verschiedenen operativen Methoden ist eine Diskussion im Gange.

Woher resultieren diese Vielzahl von konservativen Methoden, die Unsicherheit in der klaren Indikationsstellung zwischen operativen und konservativen Behandlungsverfahren und die unterschiedlichen Operationsarten bei den Clavicula-verletzungen? Es scheint, daß die Behandlungsmethoden oft rein empirisch gewonnen wurden. Das wiederum ist verständlich, wenn man bedenkt, daß einerseits Untersuchungen auf dem Gebiet der Muskel- und Gelenkmechanik schwierig sind, andererseits das Schlüsselbein aufgrund seiner histologischen Struktur eine hervorragende Heilungstendenz besitzt, und Funktionsbeeinträchtigungen im Schultergurtel nach Abheilung im Vernältnis zu der Häufigkeit der Verletzungen relativ selten sind, bzw. bei der üblichen Untersuchung nicht zutage treten.

Die Funktion und Bedeutung des Schlüsselbeines für die Schultermechanik werden nur in wenigen Arbeiten erwähnt. Die Meinungen darüber gehen sehr weit auseinander. Für die einen ist das Schlüsselbein ein wichtiger Strebepfeiler im Schultergürtel, der für ein effektvolles Bewegungsausmaß des Skapulohumeralgelenkes nötig ist, andere Autoren halten die Clavicula für einen überflüssigen Knochen, der ohne Störung der Funktion im Schultergelenk total entfernt werden kann. Diese Arbeit will sich mit der funktionellen Anatomie des Schultergürtels unter besonderer Berücksichtigung des Schlüsselbeines beschäftigen. Aus diesen Ergebnissen soll versucht werden, eine klarere Indikationsstellung für die verschiedenen therapeutischen Maßnahmen zu finden. Das Resultat dieser Abhandlung kann nicht als Empfehlung, sondern nur als kleiner Beitrag zu der allgemeinen Diskussion verstanden werden.

GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Die ersten schriftlichen Unterlagen über die Verletzungen des Schlüsselbeines und ihre Therapiemöglichkeiten sind uns von Hippokrates um 460 v.Ch. überliefert. Nach seinen Angaben reponierte der Arzt damals eine Claviculafraktur, indem er den Patienten mit einem festen Gegenstand zwischen den Schulterblättern auf den Rücken legte, ein Gehilfe den

adduzierten und ausgestreckten Arm nach cranial schob, und der Arzt mit der einen Hand den Oberarmkopf möglichst weit nach außen zog, mit der anderen die Bruchstücke adaptierte. Dann wurden Binden angelegt, die der dritten Tour des Desaultschen Verbandes entsprechen. Auch die supraacromiale Luxation war Hippokrates schon bekannt, und er warnte vor einer Verwechslung mit der Luxatio humeri. Er empfahl als Therapie einen Bindeverband, der das gepolsterte Schlüsselbein nach abwärts zog und gleichzeitig den an dem Thorax befestigten Arm nach aufwärts drängte. In der Schrift des Hippokrates werden die häufigsten Claviculaverletzungen klar diagnostiziert, differentialdiagnostisch abgegrenzt und weiterhin sinnvoll therapiert. Die damalige Reposition unterscheidet sich nicht wesentlich von den heutigen Maßnahmen, auch die Retention entspricht in ihren Grundzügen den bekannten konservativen Verbänden. Die sternoclaviculäre Luxation wird 1000 Jahre nach Hippokrates von Paul V. Ägina theoretisch in Erwägung gezogen. Der englische Arzt Richard Wiseman beschreibt weitere 1000 Jahre später im 17. Jahrhundert erstmals den Fall einer sternoclaviculären Luxation. Interessant ist die Tatsache, daß zur Zeit des Hippokrates eine klare Diagnostik und sinnvolle Therapie bekannt waren, die in den folgenden zwei Jahrtausenden von zahlreichen Ärzten modifiziert und verbessert wurden, deren Grundidee sich aber wie ein roter Faden durch die geschichtliche Entwicklung der Therapie von Claviculaverletzungen bis in die heutige Zeit zieht.

Ein Markstein in der Behandlung der Schlüsselbeinverletzungen bedeutete die Einführung operativer Maßnahmen, die schon in der voraseptischen Zeit von einzelnen Autoren (Cooper 1861, König 1879, Baum 1886) empfohlen wurden und seit Anfang des 20.Jahrhunderts einen immer breiteren Raum in der Therapieskala einnehmen. In den Anfangsstadien der operativen Retention von Claviculaverletzungen wurden Eisenplatten (Lambotte) und Schrauben sowie Klaviersaiten (Taddei) und Känguruhsehnen (Riccei) als Fixationsmaterial verwendet. Die schlechte Stabilität dieser Methoden, die oft zu Pseudarthrosebildung führten die zahlreichen Sekundärinfektionen der damaligen Zeit und die häufig nicht funktionsgerechten und sehr aufwendigen Eingriffe ließen die operative Therapie für längere Zeit wieder in den Hintergrund treten. In den letzten beiden Jahrzehnten

begann aber wieder eine Diskussion um operatives Vorgehen bei Schlüsselbeinverletzungen, da Methodiken entwickelt wurden, die den Eingriff klein und kurz halten und eine stabile Osteosynthese gewähren. Diese Diskussion scheint neben der Verbesserung der Operationstechnik und des Operationsmaterials durch neue Erkenntnisse der funktionellen Anatomie des Schultergürtels angeregt worden zu sein. Auf diesem Gebiet bereicherten besonders die Amerikaner Inman und Saunders um 1945 die Grundlagenforschung.

DESKRIPTIVE ANATOMIE des Schultergürtels

Beim Menschen setzt sich der Schultergürtel aus zwei Halbgürteln zusammen, die im ventralen Abschnitt am Sternum gelenkig miteinander verbunden sind, im dorsalen Bereich keine knöcherne Verbindung mit dem Thorax eingehen. Jeder Halbgürtel besteht aus zwei durch ein Gelenk miteinander verbundenen Elementen, dem vorderen, dem Schlüsselbein, dem hinteren, dem Schulterblatt. Der Schultergürtel spannt sich wie ein horizontaler Bogen um den oberen Thoraxabschnitt. Die an ihm aufgehängte Extremität erlangt dadurch ein größeres Bewegungsausmaß.

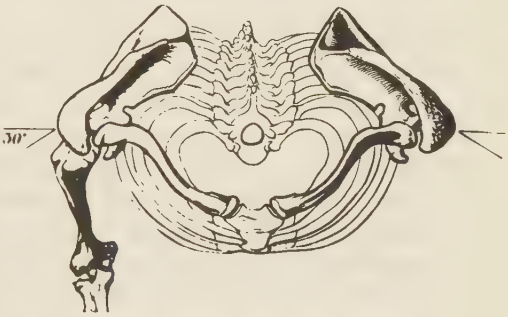


BILD 1 : Brustkorb und Schultergürtel des Erwachsenen v.oben

D i e S k a p u l a . Das Schulterblatt ist ein platter Knochen, der drei Ränder und ebensoviele Winkel sowie eine dorsale und costale Fläche unterscheiden läßt. Die costale Fläche zeigt eine konkave Wölbung, die der Konvexität der hinteren oberen Thoraxfläche angepaßt ist. Die dorsale Fläche der Skapula wird durch einen im Querschnitt dreieckigen Knochenvorsprung, die Spina skapulae, in zwei Felder geteilt, die kleine

obere Fossa supraspinata und die untere Fossa infraspinata. Die Spina skapulae läuft nach lateral im Collum skapulae in einen massiven flachen Knochenvorsprung, dem Acromion, aus. Vom Hals der Skapula entspringt das Coracoid als ein nach vorne auswärts und abwärts gebogener dicklicher Knochenprozess. Es handelt sich beim Schulterblatt um eine Rahmenkonstruktion mit randparallelen Knochenzügen, die sich im Collum skapulae vereinigen und im weiteren Verlauf die Fossa articularis bilden. Einen querstabilisierenden Knochenzug bildet die Spina skapulae. Die Skapula ist an der dorsalen Oberfläche des Thorax durch die axioskapulare Muskulatur aufgehängt. Sie ist normalerweise tief in Muskulatur eingebettet, sodaß nur die Spina und der Angulus inferior der Palpation zugänglich sind. Beim Gesunden kann sich die Skapula weit über den Rücken bewegen, denn sie ist frei von knöchernen Verbindungen zum Achsenskelett. Sie artikuliert nur im Bereich des Acromions mit der Clavicula und ist am Coracoid durch das coracoclaviculäre Band mit dem Schlüsselbein fest verbunden.

D a s S c h l ü s s e l b e i n . Das Schlüsselbein ist ein S-förmiger geschwungener Knochen. Die mediale Hälfte ist nach vorn konvex, die laterale nach vorn konkav gebogen. Weiterhin ist der Knochen in sich torquiert, sodaß die craniale Fläche des medialen Bereiches im lateralen zur dorsalen Fläche wird. Im lateralen Drittel zeigt die Clavicula einen flachen, im mittleren und inneren Drittel einen prismatischen Querschnitt. Die extremitas sternalis ist kolbig aufgetrieben und überragt die Gelenkpfanne des Brustbeines an Ausdehnung bedeutend nach oben, nach vorn und nach hinten. Nur die untere Hälfte artikuliert mit dem Sternum. Die Gelenkfläche zeigt in den meisten Fällen eine sattelförmige Wölbung, doch kann ihre Form individuell erheblich variieren. Lateral von der facies articularis sternalis liegt am vorderen unteren Umfang des medialen Anteils der Clavicula die Tuberositas costalis als Ansatz für das Ligamentum costoclaviculare. Das acromiale Drittel des Schlüsselbeines besitzt am hinteren unteren Umfang die Tuberositas coracoidea als Befestigungspunkt fur das Ligamentum coracoclaviculare. Die Extremitas lateralis zeigt eine elliptische leicht gewölbte Gelenkfläche.

Das Schlüsselbein, das in seiner ganzen Länge unter der Haut zu sehen und gut zu palpieren ist, verläuft beim Lebenden in

Ruheposition des Armes nicht ganz transversal, sondern schräg nach oben, außen und hinten. Die Aufwärtsneigung beträgt durchschnittlich 10 bis 12 ° von der Horizontalen, auf der Seite der Händigkeit ist die Steigung gewöhnlich geringer. Die Clavicula zeigt bei der menschlichen Rasse eine so starke Ausprägung, daß individuelle, geschlechtsbezogene, altersbedingte und rassische Unterschiede hinsichtlich ihrer Formgestaltung zu bemerken sind. Insbesondere ist ihre S-förmige Schwingung abhängig von der Masse der ansetzenden Muskulatur.

D a s S t e r n o c l a v i c u l a r g e l e n k . Das kolbig aufgetriebene sternale Ende der Clavicula artikuliert mit dem Sternum in der Incisura clavicularis des Manubrium sterni. Dieses Gelenk bildet die einzige knöchern-gelenkige Verbindung des Schultergürtels mit dem Rumpf und ist gewissermaßen der osseoarticuläre Stützpunkt für die gesamte obere Extremität. Die Gelenkflächen des Sternoclaviculargelenkes besitzen eine undeutliche Sattelform, zeigen eine ausgeprägte individuelle Inkongruenz und bieten daher allein keine Stabilität. Die Inkongruenz wird durch einen Discus interarticularis ausgeglichen, die Stabilität wird allein durch die Verstärkungsbänder garantiert. Der fibrocartilaginöse Discus teilt die Gelenkhöhle in zwei getrennte Räume. Er ist oft deutlich konvex-konkav geformt und hat eine Dicke von 3 bis 5 mm, gelegentlich zeigt er Perforationen. Zusammen mit dem Gelenkknorpel, der ebenfalls aus Faser - und nicht aus hyalinem Knorpel besteht, ist also zwischen Sternalpfanne und dem claviculärem Gelenkkopf eine ungefähr 1 cm dicke Knorpelmasse als Stoßdämpfer eingebaut. Der Discus befestigt weiterhin durch starke Fasern die Clavicula mit der ersten Rippe. Einerseits ziehen Faserstränge von seinem Oberrand zum medialen Ende der Clavicula, andererseits von seinem Unterrand zum Knorpel der ersten Rippe.

Die Gelenkflächen des Sternoclaviculargelenkes sind von einer dickwandigen, schlaffen Gelenkkapsel, die nur zwei Drittel des Schlüsselbeinkopfes umfaßt, umhüllt. Die Kapsel befestigt sich ebenfalls an den Rändern des Discus interarticularis. Die Vorder- und Hinterwand der Gelenkkapsel, die so gut wie keine Stabilität gewährt, werden durch starke auf- und aus-

wärts laufene Faserstränge verstärkt : Ligg. sternoclaviculare anterius et posterius. Weiterhin wird das Gelenk durch ein Querband zwischen beiden Schlüsselbeinköpfen, Ligamentum interclaviculare gefestigt; seine Fasern verschmelzen mit der Gelenkkapsel. Die sternale Sehne des Muskulus sternocleidomastoideus stabilisiert das Gelenk in seinem vorderen Abschnitt, wie die hintere Gelenkkapsel durch die Ansätze der sternohyoidalen und sternothyroidalen Muskulatur zusätzlich befestigt wird. Einen letzten Verstärkungszug bildet das Ligamentum costoclaviculare; es gehört nur funktionell zum Sternoclaviculargelenk, im übrigen ist es ein selbstständiges, kräftiges Band, das vom Knorpel der ersten Rippe auf- und auswärts zur Tuberositas costalis claviculae läuft. Die Fasern sind spiralig angeordnet und wickeln sich ab, wenn die Schulter nach hinten gehoben wird. Die Integrität des Sternoclaviculargelenkes ist eine wichtige Voraussetzung für eine normale Schulterbeweglichkeit. Die Bewegungsausmaße im Gelenk sind zwar sehr klein, werden aber durch die Länge der Clavicula und deren Kurvaturen stark vergrößert, sodaß sie eine wesentliche Bedeutung an der komplexen Schultergelenksbeweglichkeit haben.

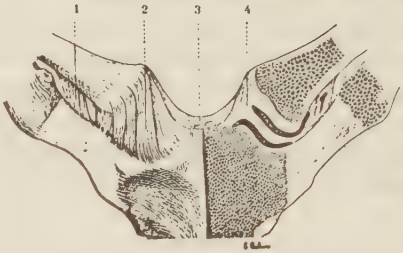


BILD 2 : Sternoclaviculargelenk von ventral

1 Ligamentum costoclaviculare
2 Ligamentum sternoclaviculare anterius
3 Ligamentum interclaviculare
4 Fibrokartilaginöser Discus

D a s A c r o m i o c l a v i c u l a r g e l e n k . Die Extremitas acromialis claviculae ist mit dem Schulterblatt doppelt verbunden und zwar im Bereich des Acromioclaviculargelenkes sowie dort, wo die Clavicula den Prozessus coracoideus kreuzt. Das flache, nach dorsal konvex geschwungene äußere Drittel des Schlüsselbeines zeigt an seinem Ende eine kleine elliptische, leicht konvexe oder flache knorpelige Gelenkfläche. Die Gelenkfläche ist nach hinten und innen gerichtet, die des Acromions genau umgekehrt. Außerdem steht sie nicht senkrecht auf der Horizontalebene, sondern ist gegen sie ge-

neigt, sodaß sie nach unten, während die acromiale Gelenkfläche nach oben schaut. Diese Verhältnisse gestatten besonders leicht die supraacromiale Dislokation der Clavicula beim Verlust der Stabilität des Gelenkes. Andererseits verhindert diese Konstellation Gelenkverschiebungen bei anstemmenden oder stützenden Bewegungen des Armes. Die Spina scapulae biegt in ihrem lateralen Teil nach vorne ab und formiert das Acromion. Das Acromion ist flach und rechteckig und weist auf seiner schmalen Innenseite eine kleine konkave, eiförmige knorpelige Gelenkfläche auf.

Dieses Gelenk bietet, was den knöchernen Konnex betrifft, mehr Instabilität als Stabilität. Die Festigkeit wird auch hier wie beim Sternoclaviculargelenk nur durch die Verstärkungsbänder gewährleistet. Da die Gelenkflächen nicht kongruent sind, ist meist auch ein kleiner Discus interponiert. Dieser Discus hat eine Keilform und ist mit seiner Basis im oberen Abschnitt mit der fibrösen Gelenkkapsel befestigt. Er besteht aus faserigem Knorpel wie die Gelenkflächen. In den meisten Fällen befindet er sich nur in der oberen Hälfte des Gelenkspaltes, selten füllt er ihn ganz aus. Die Gelenkkapsel selbst ist dünn und schlaff. Auf der Ober- und Unterseite wird sie durch straffe Bänder gestärkt, Ligg.acromioclaviculare superius et inferius. Besonders kräftig ist das obere Band ausgebildet, das an den Rauhigkeiten des Acromions ansetzt, medial-dorsalwärts zur Clavicula zieht und in einiger Entfernung vom Gelenkrand befestigt ist. Dieses Band wird verdeckt und zum Teil auch verstärkt durch Sehnenfasern, die vom Trapezius zum Deltoideus ziehen. Seine vordersten Anteile verbinden sich mit denen des Ligamentum coracoacromiale.

Der Spalt zwischen Acromion und dem Coracoid wird einerseits durch lockeres Bindegewebe, andererseits durch das Ligamentum coracoacromiale ausgefüllt. Es hat eine dreieckige Form und entspringt mit seiner 3 cm breiten Basis vom lateralen Rand des Coracoids, verjüngt sich zu einem schmalen Band und setzt an der Vorder- und Innenseite des Acromions gerade vor dem Acromioclaviculargelenk an. Die zentralen Fasern dieses Bandes sind sehr dünn und können sogar fehlen. Dieses Band ist von Bedeutung für die Führung des Humeruskopfes. Darauf soll schon hier eingegangen werden, da es für die Funktion des Schultergürtels von untergeordneter Bedeutung ist. Es trennt die Bursa subacromialis vom Acromioclaviculargelenk. Seine

Unterfläche bildet das Dach des hinteren Anteils der Bursa subacromialis. Nach Codman führt dieses Band den Humeruskopf bei der Elevation des Armes und verhindert, daß der Humeruskopf sich am Acromioclaviculargelenk abstützt. Die Praxis zeigt aber, daß dieses Band ohne funktionelle Einbuße durchgetrennt werden kann, solange der Muskelapparat intakt ist. Auf jeden Fall verhindert es die Luxation des Humeruskopfes nach oben. Außerdem gewährleistet das Ligamentum coracoacromiale mit der Bursa subacromialis eine Gleitfläche zwischen oberflächlichen und tiefen Muskelschichten.

Ein weiteres Band mit funktioneller Wichtigkeit für den Humerus allein ist das Ligamentum coracohumerale. Dieser kräftige, rechteckige Bandapparat entspringt an der lateralen Außenfläche des horizontalen Abschnittes des Coracoids unterhalb des Ligamentum coracoacromialis. Es läuft nach vorn und abwärts zwischen dem Muskulus supraspinatus und subskapularis hindurch. Dann vermischen sich seine Fasern mit denen der fibrösen Gelenkkapsel des Glenohumeralgelenkes und enden an den Tubercula. Dieses Band übt eine Haltefunktion für den Humerus aus. Die proximalen Fasern wickeln sich bei Außenrotation ab, bei Innen- auf. Dieses Ligament spielt eine dominierende Rolle beim Krankheitsbild der "frozen shoulder".

Das acromioclaviculare Gelenk erhält seine stärkste Verankerung durch das Ligamentum coracoclaviculare, das sich aus dem lateralen vorderen Anteil, dem Ligamentum trapezoideum, und dem medialen hinteren Anteil, dem Ligamentum conoideum, zusammensetzt. Im hinteren Abschnitt entspringen sie gemeinsam vom Coracoid, im vorderen weichen sie auseinander und lassen mehr oder weniger deutlich die Unterscheidung in zwei Bänder zu. Sie verlaufen aufwärts und nach lateral, um an der Tuberositas coracoidea claviculae zu inserieren. Das Ligamentum trapezoideum ist 4 bis 6 mm dick, besteht aus zwei Platten und ist fast sagittal ausgerichtet,nur die vorderen Faserzüge haben häufig einen schrägen Verlauf. Es entspringt am medialen Rand und der hinteren superioren Fläche des Coracoids. Der schwächere Teil des Ligamentum coracoclaviculare, die Pars conoidea, hat eine kegelförmige

Gestalt und seinen Ursprung im hinteren medialen Abschnitt des Coracoids. Es schlingt sich über das Coracoid ebenso wie

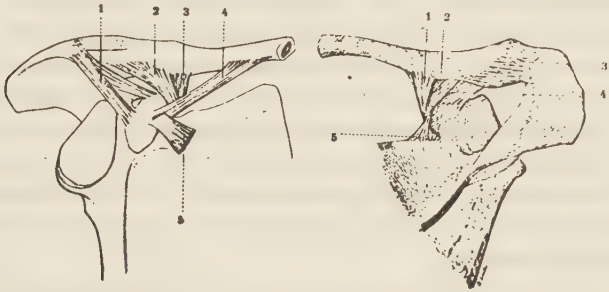


BILD 3 : Die Verbindungen der Clavicula mit der Skapula

links : ventrale Ansicht

1 Ligamentum coracoacromiale
2 Ligamentum trapezoideum
3 Ligamentum conoideum
4 Ligamentum coracoclaviculare
5 Ansatz d.Muskulus pectoralis minor

rechts : dorsale Ansicht

1 Ligamentum conoideum
2 Ligamentum trapezoideum
3 Ligamentum acromioclaviculare superius
4 Ligamentum coracoacromiale
5 Ligamentum coracoideum

der mediale Abschnitt der Pars trapezoidea und verläuft dann aber vertikal frontal gestellt zur Clavicula. Diese Bänder haben eine wichtige statische und dynamische Bedeutung im Schultergürtel, worauf später eingegangen werden soll.

Auf eine ausführliche Darstellung des Humeroskapulargelenkes soll an dieser Stelle verzichtet werden. Funktionell muß man natürlich das Humeroskapulargelenk bei der Bewegung des Armes mit den Gelenken des Schultergürtels und deren Strukturen zusammen sehen. Es bestehen sogar beim Gesunden strenge Gesetzmäßigkeiten zwischen den einzelnen Gelenken bei den Armbewegungen. Trotzdem kann man sagen - das ist vielleicht etwas zu teleologisch gesehen -, daß die Funktionen im Schultergürtel dazu dienen, das Skapulohumeralgelenk in eine optimale Stellung für eine Armbewegung aus ihm heraus zu bringen. Deshalb soll bei dieser Abhandlung über Probleme des Schultergürtels auf eine Darstellung des Skapulohumeralgelenkes verzichtet werden. Später im funktionell anatomischen Teil werden alle Funktionen der Schultergürtelgelenke in Beziehung zur Aktion des Skapulohumeralgelenkes gesetzt werden.

Die Muskulatur, die den Schultergürtel bewegt. Vom Rücken und der Brust ziehen Muskeln zum Schultergürtel und Humerus. Diese

Muskulatur kann man topographisch in drei Gruppen einteilen. 1. in die Skapulohumerale, 2. in die Axiohumerale, 3. in die Axioskapulare Muskulatur. Die skapulohumerale Muskulatur setzt sich aus den Mm.supraspinatus, infraspinatus, teres minor et maior, subskapularis und deltoideus zusammen. Die axiohumerale Gruppe besteht aus den Mm.pectoralis maior et minor und latissimus dorsi. Die axioskapulare Gruppe wird gebildet von den Mm. trapezius, rhomboideus, serratus anterior und levator skapulae. Auf nähere topographische Einzelheiten soll nicht eingegangen werden, gegebenenfalls werden hier und dort später wichtige Details erwähnt werden.

Viel wichtiger als eine Zusammenfassung in topographische Gruppen erscheint eine Einteilung der Muskulatur in Funktionssysteme. Dabei sollte man sichnklarmachen, daß man einen Muskel nicht als mechanische Einheit betrachten kann,und sich der Muskel nicht in seiner Gesamtheit kontrahieren muß. Nach Inman und Saunders kann man die Schultermuskulatur in folgende Funktionseinheiten unterteilen. 1. Die Abduktoren und Flexoren des Humerus, 2. die Depressoren des Humerus und 3. die Skapularotatoren. Zur 1. Gruppe gehören die Mm.deltoideus, pectoralis maior, supraspinatus, zur 2. die Mm.subskapularis, infraspinatus und teresminor. Die 3. Gruppe muß man in zwei Kraftzüge unterteilen; der eine zieht in medialer Richtung vom Acromion aus, der andere schwenkt den Angulus inferior skapulae nach auswärts und vorwärts. Der obere Anteil des Muskulus trapezius, M.levator skapulae und die oberen Zähne des M.serratus ant. bilden die acromiale Zuggruppe. Die untere Portion des M.trapezius und die unteren vier Zähne des M.serratus anterior stellen die andere Rotationsgruppe dar. Eine weitere Funktionseinheit bilden der mittlere Anteil des Muskulus trapezius und der Muskulus rhomboideus. Diese beiden Muskeln haben nur statische Bedeutung, und deshalb soll ihre Funktion schon hier abgehandelt werden. Sie halten die Skapula in der Frontalebene während der Abduktion und verhindern somit ein Abgleiten des Schulterblattes nach vorn. Ebenso nimmt der Teresmaior eine Sonderrolle ein; er zeigt kaum Aktivität während der Elevation des Armes, sondern erst bei reiner Haltefunktion während der Armhebung. Um Mißverständnisse zu vermeiden, soll schon hier gesagt werden, daß die jetzige kurze und die späteren Funktionsbetrachtungen sich fast ausschließlich auf die wichtigste Bewegung im Schultergürtel, nämlich die Elevation des Armes beziehen.

ENTWICKLUNGSGESCHICHTE

In diesem Kapitel soll nicht auf die embryonale sondern ontogenetische Entwicklungsgeschichte der Schulter kurz eingegangen werden; denn von der Ontogenese her läßt sich die anatomische Konstruktion der oberen Extremität besser verstehen, und sie zeigt uns auch die Wichtigkeit bestimmter Abschnitte im Schultergürtel auf. Die Entwicklung des Armes ist danach ausgerichtet, der Hand ihre Funktion zu ermöglichen. Die Hand ist nach Bunnell mit der Entwicklung des Gehirns und der Vervollkommnung seiner Funktion eng verbunden. Sie ist nicht nur ein Greifinstrument, sondern auch ein hochspezialisiertes Organ der Wahrnehmung. In der Entwicklungsreihe der oberen Extremität ist sie das Primärorgan und hat ihr Äquivalent in der Brustflosse der Fische. Die brachialen und antebrachialen Segmente haben sich später aus höheren cervikalen Abschnitten entwickelt, um die Funktion der Hand zu erweitern und zu erleichtern. Bei den primitiven Fischen besteht das Skelett der oberen Extremität aus einer dorsalen Portion, der Skapula, und einer ventralen, dem Prozessus coracoideus. Zwischen beiden liegt die Fossa glenoidalis, die sich mit dem Gliedmaß im Gelenk verbindet. Es besteht keine Schultergürtelbeweglichkeit. Die Prozessus coracoidei sind sehr kräftig entwickelt und durch eine Membran oder Zwischenknochen verbunden. Sobald die obere Extremität in der Evolution mehr Beweglichkeit erlangt, atrophiert der Prozessus coracoideus und verliert seine Verbindung zum Sternum. Es entwickelt sich eine Clavicula bei den Sauropsiden. Die Clavicula war für diese Tiere bei der Lokomotion unbedingt notwendig, denn ihr Körper war zwischen den vorderen und hinteren Gliedmaßen aufgehängt, das heißt der Humerus war annähernd horizontal vom Körper abgespreizt. Das Schlüsselbein verhinderte bei diesen Lebewesen ein mediales Abgleiten der Skapula an der dorsalen Rumpffläche. Auch die Vögel brauchten eine ventrale Stütze des Schultergürtels, um ein Annähern der Articulationes humeri bei den Flugbewegungen zu vermeiden. So entstand bei ihnen die Furcula, ein beiden Claviceln analoges Gebilde.

In der Entwicklungsreihe der Säugetiere kommt es nun teilweise zu einer Rückbildung der Clavicula. Bei den Säugern ist nämlich

die Facies articularis skapulae wie coxae caudalwärts gerichtet, sodaß der Körper nicht mehr zwischen den Extremitäten aufgehängt, sondern von ihnen getragen wird. Dadurch hat die Längsachse der oberen Extremität mit der der Skapula eine gemeinsame Richtung,und es kommt nicht zu einer rechtwinkligen Abknickung der Drucklinie in der Articulatio skapulohumeralis wie bei den Sauropsiden. Aus diesem Grunde braucht der Schultergürtel der Säugetiere keine so starke ventromediale Festigkeit, und die Schlüsselbeine haben sich zurückgebildet. Huftiere besitzen überhaupt keine Clavicula, Carnivoren nur eine rudimentäre. In anderen Entwicklungsreihen der Mammaria bleibt das Schlüsselbein aber erhalten und zeigt eine ausgeprägte Formgestaltung. Man findet es bei den Nagetieren, den Fledermäusen und Primaten. Bei diesen Lebewesen hat das Schlüsselbein seine ursprüngliche Stützfunktion bei der Lokomotion verloren und dient einer hochspezialisierten ergomotorischen Leistungsfähigkeit der oberen Extremität. Eine genaue Analyse dieser funktionellen Causalität erfolgt im Kapitel der funktionellen Anatomie und der Diskussion.

Im Rahmen des Funktionswandels der oberen Extremität vom Fortbewegungs- zum Greiforgan haben sich natürlich auch die anderen Elemente des Schultergürtels modifiziert. In der Entwicklungsreihe zu den Primaten hin wird das Schulterblatt zunehmend größer und nimmt eine gestrecktere Form an, wobei die Verlängerung der Skapula hauptsächlich die Fossa infraspinalis betrifft, während die supraspinale nur gering zunimmt. Die Veränderung steht in Beziehung zu den funktionellen Erfordernissen der dort ansetzenden Muskulatur. Diese einseitige Vergrößerung der Fossa infraspinalis geht mit einer Massenzunahme der Mm. subskapularis, infraspinatus und teres minor einher. Das unterstreicht deren Bedeutung als Depressoren und Rotatoren des Humerus. Eben dieselbe Beziehung besteht zwischen der Entwicklung des Acromions und der zunehmenden funktionellen Bedeutung des Deltoideus. Bei den primitiven Säugern ist das Acromion klein und zart gebaut und überdeckt nur einen kleinen Abschnitt des Humeruskopfes. In der weiteren Entwicklungsreihe nimmt es an Größe und Masse sehr stark zu und überdacht den Humeruskopf in einem größeren Ausmaß. Diese Veränderung des Acromions unterstreicht immer mehr die dominierende Rolle des Deltoideus für die obere Extremität. Eine ebenso funktionell

wichtige Entwicklung ist das distale Abwandern des Ansatzes des Muskulus deltoideus am Humerus, wodurch seine Kraftentfaltung verstärkt wird. Hervorgerufen durch die Abflachung des Thorax beim aufrechten Gang gleitet die Skapula nach dorsal, dabei erfährt der Humerusschaft eine zunehmende Torsion, und die lange Bizepssehne kommt zwischen den beiden Tuberkula mehr nach medial zu liegen. Diese Verlagerung hebt die abduzierende Wirkung des M.biceps longus im Schultergelenk auf und stellt seine Kraft der Flexion zur Verfügung. Erst bei maximaler Außenrotation kommt die lange Bizepssehne in die entwicklungsgeschichtlich alte Position zurück, und der M.biceps longus kann als Abduktor genutzt werden.

Entwicklungsgeschichtlich und funktionell interessant ist noch die Tatsache, daß die Mm.deltoideus und teres minor früher ein gemeinsamer Muskel waren, die sich dann aber später durch die enorme Längenzunahme der Skapula trennten. Ebenso waren die Mm. levator skapulae und serratus anterior früher ein gemeinsames Muskelbündel. Die Funktionsaufgaben im Schultergürtel erforderten nicht nur eine Trennung dieser beiden Muskeln für verschiedene Aktionen, sondern auch noch eine Aufteilung des M.serratus in eine obere und untere Arbeitsgruppe, die unterschiedliche Funktionen ausüben. Dieselben Verhältnisse bestehen beim Muskulus trapezius, der in drei Aktionseinheiten zerfällt.

FUNKTIONELLE ANATOMIE

Diskussionen über Probleme im Bereich des Schultergürtels dürfen sich nicht mit der deskriptiven und topographischen Anatomie allein zufrieden geben, sondern müssen die modernen Konzeptionen über die Funktionen des Schultergürtels berücksichtigen. Exakte funktionell anatomische Kenntnisse sind für den orthopädischen Chirurgen bei Eingriffen im Bereich der Schulter unentbehrlich, um richtige Indikationen zu stellen und optimale Reparationen zu erhalten. Arbeiten auf dem Gebiet der Gelenk- und Muskelmechanik des Schultergürtels sind nicht sehr zahlreich. Um die Jahrhundertwende gab es noch verschiedene Ansichten über die mechanische Koordination bei der Bewegung im Schultergürtel, Ausmaße und Synchronisation der einzel-

nen Gelenkfunktionen sowie über die Wirkung der verschiedenen Muskeln bzw. Muskelanteile und ihr Zusammenspiel. Einige Autoren hatten schon damals sehr exakte wissenschaftliche Studien an Leichen und Lebenden vorgenommen. Leider sind die Resultate dieser Arbeiten vielfach unbeachtet geblieben, vor allem weil ihre praktische Nutzanwendung von den Autoren nicht besonders betont wurde, und die orthopädisch-chirurgische Entwicklung für viele Erkenntnisse noch zu jung war. Infolgedessen haben sich viele falscne und zu simple Vorstellungen über die Statik und Mechanik des Schultergürtels bis in die heutige Zeit hinübergerettet. Es ist neben anderen Autoren ein besonderes Verdienst der amerikanischen Wissenschaftler Codman, Inman, Abott und Saunders durch exakte Untersuchungen mit modernen Methoden eine vollständige Synopsis der Funktion der Schulter gegeben zu haben, die den heutigen orthopädischen Ansprüchen Genüge leistet.

Im Sinne dieser Autoren müssen die alten Konzepte über die Schulterbeweglichkeit geändert werden, insbesondere die alteingebürgerte Meinung, daß die ersten 90° der Abduktion des Armes vom glenoidalen Gelenk und die nächsten 90° durch die Rotation der Skapula auf dem Thorax zustande kommen. Vorwegnehmend soll gesagt werden, daß das Heben des Armes aus einer synchronen und kontinuierlichen Bewegung aller Elemente des Schultergürtels - dem skapulohumeralen Rhythmus - resultiert. An dieser einheitlichen Bewegung nehmen alle Gelenke des Schultergürtels teil. Folglich umfaßt das Schultergelenk funktionell vier Gelenke : das skapulohumerale, das sternoclaviculare, das acromioclaviculare und das skapulothorakale Gelenk. Das letzte Gelenk ist anatomisch gesehen keines, muß aber funktionell als ein solches angesehen werden. Der gesamte Komplex von osteoarticulären und muskulären Formationen, der die Schulter bildet, dient als Funktionshilfe der Hand. Deshalb besitzt die obere Extremität ein hohes Maß an Beweglichkeit. Sie ist die Summe harmonischer Aktionen der verschiedenen Gelenke und der periarticulären Bindegewebsräume. Diese Charakterisierung ist neueren Datums und unterscheidet sich klar von der klassischen anatomischen Interpretation, die den Anteil der Kleingelenke an der Gesamtbewegung nicht erkannt und die Bedeutung der bindegewebigen Verschiebesysteme übersehen hat. Die Klinik zeigt uns nämlich, daß Läsionen in diesen periarticulären Räumen die Schulterbeweglichkeit

schmerzhaft gestalten, sie erschweren oder ganz inhibieren können.

Nach Caritat kann man infolgedessen sieben Elemente im Schulterkomplex unterscheiden, deren integre Koordination die normale Funktion sichert : neben den schon aufgezählten vier Gelenken kommen die sogenannte articulatio coracoclavicularis, die bursa subdeltoidea und das Verschiebesystem der langen Bizepssehne im Sulcus intertubercularis hinzu. Die bursa subdeltoidea und das Verschiebesystem der Bizepssehne sollen nur kurz gestreift werden. Amerikanische Autoren nennen die bursa subdeltoidea auch articulatio humeralis superior. Diese Nomenklatur ist schon bezeichnend für die Bedeutung dieser bursa bei der Schulterbeweglichkeit. Eine Bursitis schränkt den Aktionsradius stark ein. Eine degenerative oder traumatische Veränderung der Supraspinatussehne oder eine Läsion des caput long.bicipitis soll diese Bursitis verursachen. Sehnenschädigungen des langen Bizeps oder eine Synovitis bursae serosae bicipitis können durch sehr heftige Schmerzen die Schulterbeweglichkeit einschränken und führen somit zum bicipitalen Syndrom.

Im folgenden soll ausführlich auf die funktionelle Anatomie der Schultergürtelgelenke, die Dynamik von Skapula und Clavicula und auf die Funktionsanalyse der Muskelgruppen bei Bewegungen in der Schulter eingegangen werden. Die Bedeutung der articulatio skapulohumeralis an der Gesamtbeweglichkeit liegt klar auf der Hand; sie wird im weiteren Verlauf nicht eingehend analysiert werden. Die Wichtigste Bewegung des Schultergürtels zum Studium der Funktionsverhältnisse ist die Erhebung des Armes entweder als Seitwärts- oder Vorwärtselevation. Das Hauptaugenmerk soll auf das Verhalten des Schlüsselbeines während der komplexen Schultergürtelbewegung gerichtet sein.

Die Armhebung im Glenohumeralgelenk - entweder in der coronalen oder in der sagittalen Ebene - wird synchron durch eine Bewegung des Schulterblattes unterstützt. Während der ersten 30 ^{o} des Armhebens nach seitwärts oder den ersten 60 ^{o} bei der Vorwärtshebung verhält sich die Skapula sehr individuell. In dieser Phase der Schulterbewegung nimmt die Skapula eine stabile Stellung zum Humerus ein. Sie sucht eine im bestimmten verhältnis zu ihm stehende Position auf, um den Wirkungsgrad der skapulohumeralen Muskulatur effektiver zu gestalten. Diese

Einstellungsbewegung ist individuell sehr verschiedenartig. Sie hängt wohl von der habituellen Position der Skapula in Ruhe ab. Das Schulterblatt kann einerseits fixiert bleiben, und die Bewegung des Armes findet in dieser Anfangsphase nur im Glenohumeralgelenk statt, andererseits kann sie auf dem Thorax nach lateral oder medial gleiten, in seltenen Fällen schwingt sie, bis die stabile Position erreicht ist. Diese irreguläre Einleitungsperiode bei der Armhebung wird als Einrichtungsphase bzw. "setting phase" bezeichnet. Von diesem Punkt an bewegen sich der Humeruskopf und die Skapula in einem synchronen und konstanten Verhältnis. Es ist bei der weiteren Armhebung 2:1 humeral zu skapular. Das bedeutet, daß bei einer Elevation von 15 ° 10° im humeralen und 5 ° im skapularen Gelenk ausgeführt werden. Die Summe der Skapularbewegung beträgt also bei der völligen Armhebung 60 °, die des Humerus im Glenohumeralgelenk 120°. Unter pathologischen Bedingungen kann ein Gelenk unabhängig von dem anderen arbeiten. Einen größeren Aktionsradius erreicht aber das allein funktionierende Gelenk nicht. Bei einer Fixation der Skapula kann der Arm aktiv 90 ° und passiv 120 °gehoben werden. Normalerweise müßte man nach dem Gesagten eine aktive Beweglichkeit von 120 ° erwarten, aber die fehlende Skapula- und Claviculabewegung bringt schon vorzeitig Ansatz und Ursprung des Muskulus deltoideus in eine so ungünstige Position zueinander, daß eine aktive Hebung über 90° nicht möglich ist. Weiterhin haben Untersuchungen ergeben, daß die fehlende Skapularotation die Kraft der Abduktion um ein Drittel vermindert, was wohl auf demselben Mechanismus beruht.

Die Clavicula und ihre Gelenke spielen eine wichtige Rolle bei den Bewegungen des Schulterblattes und somit bei der Elevation des Armes. In der Articulatio sternoclavicularis kann das Schlüsselbein um drei Achsen rotieren. Bewegungen um die sagittale Achse heben es um 45 ° und senken es um 5 ° aus der Ruheposition. Das Senken ist deshalb so gering, weil die erste Rippe diese Bewegung sehr früh sperrt. Bei der Rotation um die sagittale Achse durchläuft das laterale Ende der Clavicula einen Weg von 8 bis 10 cm. Die Schwingungen um die vertikale Achse gestattet eine Protraction und Retraction um jeweils 15°. Das laterale Ende erfährt dabei eine Verschiebung von 6 bis 7 cm. In der Längsachse kann die Clavicula im Uhr-

zeigersinn ungefähr 50° rotieren, eine umgekehrte Bewegung verhindert das acromioclaviculare Band.

Das Acromioclaviculargelenk läßt die Skapula in drei Achsen um die Clavicula rotieren. In der vertikalen Achse kann sich die Skapula mit ihrer Margo vertebralis um ungefähr 50° von der Thoraxwand entfernen. Bewegungen um die sagittale Achse lassen den Angulus inferior maximal 30° auf dem Thorax nach vorn rotieren, wodurch die Articulatio glenoidalis aufwärts gerichtet wird. Durch Drehung um die frontale Achse kann die Skapula ihren Angulus inferior von der Thoraxwand 30° entfernen.

Die Bewegungsausmaße in beiden Claviculargelenken ermöglichen der Cavitas glenoidalis zahlreiche Stellungsmöglichkeiten, sodaß der Humerus bzw. die Hand einen großen Aktionsraum haben. Die Rotation der Skapula um die sagittale Achse des Acromioclaviculargelenkes ist wohl die bekannteste und wichtigste; denn beim Armheben, ob frontal oder lateral, könnte es dazu kommen, daß der Humerus an das Acromion stößt und die Bewegung aufhört. Dank der Rotation der Skapula um die sagittale Achse richtet sich die Fossa glenoidalis nach oben und innen, und der Humeruskopf wird nicht mehr vom Acromion gesperrt. Weiterhin wird durch diese Skapulabewegung die Effektivität des Muskulus deltoideus erhöht. Die Skapula rotiert nicht nur um die Achsen im Acromioclaviculargelenk, sondern gleitet auch bei Bewegungen des Sternoclaviculargelenkes auf der Thoraxwand entlang. Die Rotationen des Schulterblattes um die vertikale und frontale Achse werden besonders deutlich und wirksam bei der Ankylose oder Arthrodese im Skapulohumeralgelenk. Eine Rotation um die vertikale Achse findet bei der Anteflexion um die frontale bei der Innenrotation des Armes statt.

Beim Armheben fallen dem Acromioclaviculargelenk und dem Sternoclaviculargelenk verschiedene Grade und Phasen zu. Bei der Elevation des Armes hebt sich die Clavicula; dabei steigt das acromiale Ende um 6 bis 7 cm, indem sie im Sternoclaviculargelenk 30 bis 40° um die sagittale Achse rotiert. Diese Bewegung beginnt sofort und läuft während der ersten 90° der Armhebung ab. 10° Elevation gehen mit je 4° Claviculärotation einher. Nach Überschreiten der 90° ist der Steigungswinkel des Schlüsselbeines nahezu konstant. Die Bewegung im Acromioclaviculargelenk während der Armhebung unterscheidet sich von der

der anderen Gelenke, denn sie ist biphasisch. Die Rotation um die sagittale Achse des Acromioclaviculargelenkes beginnt während der ersten 30 ° und setzt sich nach 135 ° Elevation fort. Zwischen diesen beiden Punkten findet annähernd keine Bewegung in diesem Gelenk statt. Das totale Rotationsausmaß beträgt 30 °. Es wird hauptsächlich in der zweiten Phase nach 135 ° verbraucht. Der erste Bewegungsabschnitt fällt in die eingangs des Kapitels erwähnte "setting phase"; daraus läßt sich schließen, daß die Rotation in dieser Phase individuell sehr verschieden groß sein, ja sogar fehlen kann. Die Summe der Drehungen von sternoclavicular- und acromioclavicular Gelenken entspricht der totalen Rotation des Schulterblattes und beträgt etwa 60 bis 70 °. Ein wichtiger Punkt ist die Tatsache, daß allein das Heben der Clavicula zu einer Drehung der Skapula führt, die 50 % des Gesamtanteiles ausmacht. Schwierig zu verstehen ist das Rotationsausmaß im Acromioclaviculargelenk, da doch die Clavicula in ihrem lateralen Abschnitt durch das coracoclaviculäre Band fest mit der Skapula verbunden ist. Eine Rotation der Skapula in der Sagittalachse des Acromioclaviculargelenkes könnte nur dann vonstatten gehen, wenn sich das coracoclaviculäre Band dehnen oder verlängern könnte. Das erscheint auf den ersten Blick unmöglich.

An dieser Stelle ist es nun nötig, auf die Funktion des coracoclaviculären und costoclaviculären Bandes bei den Bewegungen des Armes einzugehen. Das acromioclaviculare Gelenk hat drei Freiheitsgrade der Beweglichkeit und besitzt nur eine weiche Gelenkkapsel, sodaß seine Stabilität hauptsächlich durch das kräftige coracoclaviculäre Band garantiert wird. Dieses Band befestigt sich an der Unterseite der Clavicula am Beginn des lateralen Drittels. In diesem Bereich weist das Schlüsselbein seine hintere konkave Kurvatur auf. Diese laterale Schwingung ist von großer Bedeutung für eine normale Schultergürtelbeweglichkeit. Die Clavicula dreht sich bei der Elevation des Armes um ihre eigene Längsachse. Die Rotation beträgt im Durchschnitt 50 °. Durch diese Drehung bewegt sich die laterale Kurvatur nach unten; dadurch kommt es zu einer scheinbaren Elongation des coracoclaviculären Bandes. Die Torsion der Clavicula wirkt wie eine Kurbelwelle, sodaß sich die claviculären Ansätze des Ligamentum coracoclaviculare denen am Coracoid nähern und die Skapula frei pendeln kann. Diese Drehung verläuft kontinuierlich bis zur totalen Armhebung, und somit kann die

Skapula sich ständig um das Acromioclaviculargelenk bewegen. Wie wichtig dieser Kurbelwelleneffekt für die Schulterbeweglichkeit ist, beweist folgender Versuch : wird die Längsrotation der Clavicula durch einen eingeschlagenen Nagel, der arretiert wird, unterbunden, so ist eine Elevation des Armes über 120 ° unmöglich. Es bestehen klare Beziehungen zwischen der Größe der Clavicula-Rotation, der relativen Verlängerung der Ligamente und der Skapularotation. 50 % der Skapularotation kommen durch die Hebung der Clavicula zustande, für die das Sternoclaviculargelenk verantwortlich ist. Die restlichen 50 % der Drehung ereignen sich im Acromioclaviculargelenk, aber nur dann, wenn der oben beschriebene Mechanismus funktioniert. Dieser Kurbelwelleneffekt weist auch den Prozessus coracoideus als Rotationszentrum für die Skapula aus. Weiterhin begrenzen das Ligamentum conoideum und trapezoideum die Öffnungs- und Schließbewegungen des omoclaviculären Winkels beim Vor- und Zurücknehmen der Schulter. Das Ligamentum trapezoideum spannt sich beim Vorführen der Schulter und verhindert an einem bestimmten Punkt einen weiteren Schluß des omoclaviculären Winkels. Beim Zurückführen der Schulter und Öffnen des Winkels wirkt das Ligamentum conoideum begrenzend. Das coracoclaviculäre Band besitzt neben seiner wichtigen dynamischen Funktion auch noch eine statische. Es überträgt in Ruheposition des Armes die reine Haltekraft der Pars clavicularis des Muskulus trapezius auf das Schulterblatt.

Am sternalen Ende der Clavicula herrschen ähnliche Stabilitätsverhältnisse wie am acromialen. Nicht die Gelenkkapsel des Sternoclaviculargelenkes garantiert die Festigkeit, sondern zu einem Hauptteil verhindert das costoclaviculäre Band Luxationen. Funktionell wirkt es als Drehpunkt bei Bewegungen im Sternoclaviculargelenk. Das Schlüsselbein schwingt also um den costoclaviculären Bandansatz an der ersten Rippe. Dabei wird die Clavicula in zwei Hebel sehr unterschiedlicher Länge geteilt (12 und 2 cm), und das sternale Ende bewegt sich in umgekehrter Richtung wie das acromiale. Dieses Verhalten wird durch die lockere und weite Gelenkkapsel und den intraarticulären Discus des Sternoclaviculargelenkes ermöglicht. Der Verlust des costoclaviculären Bandes hat Funktionsstörungen in diesem Gelenk zur Folge, da das fehlende Rotationszentrum zu einer Lockerung in diesem Bewegungssegment und die verstärkte Belastung eines Gelenkabschnittes zur baldigen Arthrose führt. Normalerweise beschreibt der claviculäre Gelenkkopf

nämlich eine bogenförmige Bewegung in der Pfanne, sodaß keine punktformige Belastung besteht. Diese beiden Bänder müssen für eine normale Funktion der Schlüsselbeingelenke intakt sein.

Die Clavicula hat einerseits Anteil an der Rotation der Skapula, andererseits hält und fixiert sie den Schultergürtel, in dem sie als Verstrebung wirkt. Sie bildet also ein wichtiges Element bei der Bewegung im Schultergürtel, weil sie den Radius bildet, um den sich das Schulterblatt verschiebt. Nach einem Ausdruck von Winslow ist das Schlüsselbein das Steuerruder für die Bewegung des Schulterblattes. Besonders stark ist seine Stützfunktion bei der Elevation des Armes auf 180 °, ansonsten ist sie aber infolge der Spezialisierung der oberen Extremität zum Greifinstrument verhältnismäßig klein, sodaß bei Totalexstirpation oder bei Dysostosis cleidocranialis nach Angaben einiger Autoren nur eine geringe Instabilität des Schultergurtels vorhanden sein, und das Fehlen der Clavicula die Schulterbeweglichkeit vergrößern soll. Es fehlen aber Untersuchungen, ob die Beweglichkeit normal abläuft und bei Belastungen unbeeinträchtigt ist.

Diese Tatsachen veranlassen manchen Autor zu behaupten, daß das Schlüsselbein vom statischen wie vom dynamischen her ein überflüssiger Knochen im Bereich des Schultergürtels sei. Diese Ansicht soll nun bei der zu besprechenden Muskelmechanik eingeschränkt werden. Am Anfang der Betrachtung werden die mechanischen Probleme im Bereich des Schultergürtels erörtert. Es sollen die Kräfte diskutiert werden, die die Bewegungen des Glenohumeralgelenkes und die Skapularotation ermöglichen. Zu den Kräften, die am Glenohumeralgelenk angreifen, gehört das Gewicht des Armes. Es wirkt im Schwerpunkt, der etwa in Höhe des Ellenbogengelenkes liegt. Die zweite Kraft wird durch die abduzierende Muskulatur, also hauptsächlich durch die Kraftgröße und Zugrichtung des Muskulus deltoideus dargestellt. Dieses Kräftepaar übt beim Heben des Armes ein entgegengesetztes Drehmoment in der Rotationsachse dieses Gelenkes aus. Dabei verhalten sich die beiden Kräfte wie 1:2, denn der Hebel des Muskulus deltoideus ist etwa nur halb so lang wie der der Schwerkraft des Armes. Der Zug des Muskulus deltoideus übt aber

noch ein Drehmoment auf die Schwerpunktachse des Armes aus. Dieses Drehmoment hat eine luxierende Kraftrichtung für den Humeruskopf nach cranial, die eine einwandfreie Gelenkmechanik beeinträchtigt. Diese unerwünschte Wirkung bei der Armhebung kann nur eine Kraft aufheben, die entlang des axillaren Randes der Skapula zieht. In dieser Richtung wirken nun Humerusdepressoren, die Mm.subskapularis, infraspinatus und teresminor; sie setzen alle unterhalb der Rotationsachse des Humerus ein. Ein Funktionsverlust dieser Depressorengruppe macht es dem Muskulus deltoideus unmöglich, den Arm zu abduzieren, weil dann die Tuberkula und der Humeruskopf gegen das Labrum glenoidale und den acromialen Bogen stoßen. Die Humerusdepressoren und der Muskulus deltoideus bilden ein wichtiges Kräftepaar bei der Bewegung im Glenohumeralgelenk während der Elevation des Armes.

An der Rotation der Skapula beteiligen sich auch mehrere Kräfte. Erst einmal ist eine Kraft notwendig, die vertikal und aufwärts zieht und somit den ganzen Schultergurtel hält. Die Rotationskräfte der Skapula greifen sowohl am Acromion und der Spina skapulae als auch am Angulus inferior an. Die Kraft am Angulus inferior wird hauptsächlich durch den Muskulus serratus anterior, an der Spina skapulae vom unteren Muskulus trapezius ausgeübt. Die Rotationskraft am Acromion wird durch zwei antagonistische Kräfte bewirkt. Die eine ist der passive Druck der Clavicula, während die andere als Zug des oberen Muskulus trapezius angreift, wobei die rotierende Kraft aus dem Zug des Trapezius und der passiven Kraft der Clavicula resultiert. Der obere Trapezius übt auch gleichzeitig noch die zuerst genannte Haltefunktion aus. Dieser antagonistische Druck der Clavicula gestattet erst, daß der Muskelzug des acromialen Trapeziusanteiles eine Rotationsbewegung im Acromioclaviculargelenk hervorruft. Hinzu kommt, daß der obere Trapezius während der ersten 90° der Elevation die Clavicula um 40° anhebt, das heißt sie um diesen Winkel im Sternoclaviculargelenk rotieren läßt. Allein diese Rotation im Sternoclaviculargelenk macht 50 % der Schulterblattdrehung aus. Auch hier zeigt sich, daß sein Muskelzug ohne das Schlüsselbein niemals zu einer Skapularotation führen könnte, sondern höchstens zu einem Anheben des Schulterblattes. Diese Erläuterungen unterstreichen deutlich die Bedeutung der Clavicula bei der Schulterbewegung im besonderen Hinblick auf eine gerichtete Muskelmechanik. Es ist nicht ganz verständlich, warum einige Autoren das Schlüsselbein als einen

überflüssigen Knochen ansehen und bei totaler Extirpation so geringe Einschränkungen der Schultergürtelfunktion beobachten.

Im folgenden Kapitel sollen nun die Kräfte der verschiedenen Muskelgruppen bei der Elevation des Armes genauer untersucht werden. Inman, Saunders und Abott haben elektromyographische Untersuchungen am Lebenden vorgenommen.

Die A b d u k t o r e n und F l e x o r e n des Humerus. Der Muskulus deltoideus entwickelt seine größte Kraft zwischen 90 und 180° der Abduktion. Die Aktivitätskurve zeigt in diesem Bereich ein Plateau. Bei der Elevation in Anteversion ist die maximale Kraftentfaltung anfangs geringer. Bei dieser Bewegung bildet der Muskel bei 90° ein niedrigeres Plateau bis 130°, dann steigt die Aktivitätskurve steil an und erreicht dieselbe Größe wie die Abduktionskurve bei 180°. Der Muskulus pectoralis maior weist unterschiedliche Aktivitätsmuster seiner verschiedenen Anteile bei den zwei Elevationsformen auf. Bei der Vorwärtshebung ist der claviculäre Anteil sehr aktiv und erreicht ein Maximum bei 75° und ein zweites höheres bei 115°. Weiterhin zeigt nur noch der obere Abschnitt des sternalen Anteiles eine mäßige Kraftentfaltung. Bei der lateralen Armhebung entwickeln die verschiedenen Abschnitte des Muskulus pectoralis überhaupt keine Aktivität. Der Muskulus supraspinatus bildet bei den beiden Elevationsrichtungen sinusförmige Aktivitätskurven, die nur unbedeutend gegeneinander verschoben sind. Bei der Anteversions- wird das Maximum bei 80°, bei der Abduktionshebung bei 100° erreicht. Die Summationskurve der Abduktoren und Flexoren des Humerus stellt eine glattgeschwungene Kurve ohne größere Unebenheiten dar; die einzelnen Aktivitätsspitzen der verschiedenen Muskeln sind verschwunden. Das Maximum liegt bei 100°, es ist bei der Flexionshebung etwas höher als bei Abduktionselevation, hervorgerufen durch die zusätzliche Kraft des Muskulus pectoralis, dessen Energie allein nur für die Beugung und nicht für die weitere Hebung des Armes entscheidend ist. Während der gehaltenen totalen Armhebung sind immer noch 80 % der maximalen Kraft der Abduktoren erforderlich. Zu erwähnen ist noch, daß der claviculäre und spinale Anteil des Muskulus deltoideus erst als Abduktoren wirksam werden, wenn sie oberhalb der Rotationsachse zu liegen kommen, das ist erst bei 60° der Fall.

Die D e p r e s s o r e n des H u m e r u s. Sie werden vom M.subskapularis, M.infraspinatus und teres minor gebildet. Wie schon beschrieben, spielen sie neben ihrer depressorischen und rotatorischen Wirkung eine wichtige Rolle bei der Elevation des Armes. Bei der Abduktion zeigt der Muskulus infraspinatus einen fast geradlinigen Anstieg der Aktivität, während der Vorwärtshebung liegt seine Kurve beträchtlich höher und hat einen unregelmäßigen Verlauf mit zwei Amplituden bei 60 und 120 °. Im Endbereich fällt sie mit der Abduktionskurve zusammen. Der teres minor zeigt ein ähnliches Kraftdiagramm. Die Aktivitätskurve des Muskulus subscapularis verläuft unterschiedlich. Die Abduktionskurve liegt höher als die Flexionskurve und bildet ein Maximumplateau zwischen 90 und 130 °, dann fällt sie wieder steil ab. Das niedrigere Maximum während der Flexionshebung wird erst zwischen 110 und 130 ° erreicht. Die Summationskurve hat einen ähnlichen sinusformigen Verlauf wie die der Abduktoren und Flexoren, nur liegt das Maximum etwas später, und die Kurve zeigt noch einen zweiten kleinen Gipfel zwischen 60 und 80 °. Die Depressoren des Humerus üben zwei Funktionen bei der Armhebung aus, 1. lassen sie den Arm während der Elevation nach außen rotieren und 2. heben sie durch ihren Zug das oben beschriebene Drehmoment des Muskulus deltoideus auf. In der Summationskurve entspricht der kleine Gipfel bei 60 bis 80 ° dem Aktivitätsmaximum der zweiten Wirkung.

D i e S k a p u l a r o t a t o r e n. Sie setzen sich aus zwei verschiedenen Gruppen zusammen, die in entgegengesetzter Richtung arbeiten. Die obere Gruppe besteht aus dem M.levator skapulae, dem ersten und zweiten Muskelbundel des Serratus anterior und dem oberen Anteil des M.trapezius. Dieses Muskelsystem hält im Ruhezustand den gesamten Schultergürtel mit der oberen Extremität. Der obere Trapezius hebt die Clavicula und läßt dadurch die Skapula rotieren. Der unterstützende Zug von Levator und Serratus bei der Elevation des Schlüsselbeines, der die Rotation der Skapula durch die Trapeziusaktivität mit einer antagonistischen Drehung im Acromioclaviculargelenk beseitigen könnte, wird durch den Gegenzug des unteren Trapezius aufgehoben. Außerdem wäre diese Gegenrotation bald beendet, da das Coracoid gegen die Clavicula stoßen würde. Zusätzlich führt der acromiale Anteil des Trapezius eine Rotationsbewegung im

Acromioclaviculargelenk aus. Die Muskeln zeigen einen annähernd linearen Anstieg ihrer Aktivitätskurven bei der Vorwärts- sowie Seitwärtshebung. Nur im Bereich von 90° schwanken die Kurven etwas, da hier das Maximum der Haltefunktion neben der Rotationskraft erreicht wird. Levator und Serratus besitzen eine nach vorn ziehende Komponente und gleichen damit bei der Hebung der Clavicula um das Sternoclaviculargelenk den Zug des oberen Trapezius nach hinten aus. Die untere Gruppe der Skapularotatoren setzt sich aus der unteren Portion des Muskulus trapezius und den letzten vier Zacken des Muskulus serratus anterior zusammen. Dieses untere Kräftepaar ermöglicht die Rotation der Skapula um die Sagittalachse des Acromioclaviculargelenkes. Dabei entwickeln verschiedene Muskelanteile ein unterschiedliches Aktivitätsbild. Die fünfte und sechste Zacke des Muskulus serratus hat einen annähernd linearen Aktivitätsanstieg bei der Elevation sowohl in der coronalen als auch in der sagittalen Ebene. Der untere Trapezius und die sechste und siebente Zacke des Serratus verhalten sich aber bei der Seit- und Vorwärtshebung unterschiedlich. Der untere Trapezius ist hauptsächlich bei der Seitwärtshebung aktiv, der Serratusanteil vorwiegend bei der Vorwärtshebung. Dieses Verhalten ist so zu erklären, daß sich bei der Vorwärtshebung der untere Trapezius nicht so stark kontrahieren darf, damit die Skapula auf der Thoraxwand nach vorne gleiten kann. Ebenso arbeitet der mittlere Anteil des Trapezius bei der Flexionshebung. Er hält bei der Abduktionshebung in rein statischer Funktion die Skapula in einer Rotationsebene.

Nachdem hier die Muskelgruppen für die Armhebung, die einzeln oder synergistisch wirken, besprochen wurden, sollen die drei Muskelschlingen genannt werden, die die Skapulaschwingung in verschiedene Ebenen und Höhen verlegen können. Eine Muskelschlinge besteht aus einem antagonistisch wirkendem Muskelpaar. Oberer Trapezius - pectoralis minor, mittlerer Trapezius - oberer und mittlerer Serratus, unterer Trapezius - Levator scapulae sind die drei Muskelschlingen. Sie führen die nötige Verlagerung des acromialen Gelenkes nach vorne und hinten, oben und unten durch Rotation der Clavicula im Sternoclaviculargelenk aus.

Diese kurze Abhandlung über die Muskelmechanik sollte die Notwendigkeit gewisser synergistischer Kräftepaare bei der Armhe-

bung betonen. Im Rahmen dieser Arbeit erscheint nun die Tatsache besonders wichtig, daß die Clavicula als passiver, statischer Synergist fur eine effektive Leistung des oberen Muskulus trapezius bei der Elevation und dadurch bedingten Skapularotation unentbehrlich ist.

Zum Abschluß des Kapitels über die funktionelle Anatomie des Schultergürtels sollen die Funktionen der Clavicula im Rahmen der Gesamtbewegung zusammengefaßt werden. Auch die rein anatomischen Bedeutungen sollen dabei nicht vergessen werden. Das Schlüsselbein bildet eine sogenannte Strebe, die das Glenohumeralgelenk in der Parasagittalebene hält und somit den Aktionsraum für die Hand vergrößert. Es dient als Ansatz und Ursprung mehrerer Muskeln und stellt einen knöchernden Schutz für die großen Gefäße und Nerven, die zur oberen Extremität ziehen, dar. Bei der Armhebung kommt es, wie schon erwähnt, zu einer Längsrotation der Clavicula. Dabei dreht sich die anteriore bzw. mediale Kurvatur nach oben und verhindert eine Kompression des Truncus brachialis sowie der A.,V. subclavia. Die Rotation des Schlüsselbeines um die Längsachse stellt eine wichtige Funktion dar. Der Kurbelwellenmechanismus der lateralen Kurvatur führt zu einer relativen Verlängerung der coracoclaviculären Bänder. Hierdurch wird erst die Rotation der Skapula um die sagittale Achse des Acromioclaviculargelenkes frei. Die Hälfte der gesamten Skapuladrehung ist von diesem Mechanismus abhängig. Auch bei der anderen Hälfte der Skapularotation spielt das Schlüsselbein eine bedeutende Rolle. Bei der Elevation des Armes kommt es während der ersten 90 ° der Hebung gleichzeitig zu einer Elevation des Schlüsselbeines um 30 bis 40 °. Die obere Skapularotatorengruppe, hauptsächlich der obere Trapezius, löst diese Aktion aus. Die Clavicula hebt sich wie ein Exenter bei der Rotation um die Sagittalachse des Sternoclaviculargelenkes und läßt dabei die Skapula sich um 30 bis 40 ° drehen. Ohne Schlüsselbein würde die Aktion der oberen Skapularotatoren nur zu einer Hebung des Schulterblattes nach cranial führen, nicht aber zu einer Rotation. Weiterhin würde der Zug des acromialen Teils des Trapezius ohne den antagonistischen Gegendruck durch die Clavicula keine rotierende Kraft auf das Acromioclaviculargelenk ausüben. Auch die übrige rotierende Muskulatur erhält erst durch die Bandfixierung des Prozessus coracoideus als Rotationszentrum der

Skapula an der Clavicula und durch die stabile gelenkige Verbindung der Skapula im Acromioclaviculargelenk die effektivste Kraftrichtung. Bei Bewegungen über der Horizontalebene entwickelt die Clavicula ihre größte Stützfunktion und gewährleistet Stabilität der oberen Extremität bei Belastung.

Ihre Funktionen werden später im Zusammenhang mit der Therapie der Claviculaverletzungen diskutiert. Der Diskussion über eine funktionsgerechte und -berücksichtigende Therapie soll erst eine Abhandlung über die Claviculaverletzungen vorausgehen.

DIE SCHLÜSSELBEINVERLETZUNGEN UND IHRE THERAPIE

Die beiden wichtigsten Verletzungen des Schlüsselbeines sind die Fraktur und die Luxation. Auf die Distorsionen der Claviculagelenke und posttraumatische Osteolyse des acromialen Claviculaendes soll im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Traumatisierungen der Clavicula treten häufig auf. Dafür ist einmal ihre oberflächliche Lage verantwortlich, andererseits macht ihre physiologische Rolle sie für Verletzungen besonders empfänglich. Alle Energien, die auf die obere Extremität einwirken, werden auf die Clavicula als einzige knöcherne Verbindung von oberer Extremität und Thorax, der als Widerlager wirkt, übertragen. Umweltfaktoren wie zunehmende Industrialisierung, steigende Verkehrsdichte, Belebung des Sports haben verständlicherweise zu einer allgemeinen Zunahme der Fraktur- und Luxationshäufigkeit geführt. Aber die Verletzungen der oberen Extremität und des Schultergürtels haben heutzutage unverhältnismäßig stärker zugenommen. Besonders bei den Betriebsunfällen stehen sie an erster Stelle, sowohl was die Zahl als auch die wirtschaftliche Bedeutung anbetrifft.

Schulterverletzungen werden ganz allgemein durch direkte oder indirekte Traumata hervorgerufen. Beim direkten Trauma trifft die Verletzungsenergie primär einen Teil des Schultergürtels, beim indirekten greift sie entfernt von der Schulter an, meist im Bereich der Hand oder des Ellenbogens und wird dann proximalwärts auf die Schulterregion fortgeleitet, wo sie sich dann in einer Verletzung verbraucht. Die direkten Traumen führen hauptsächlich zu Weichteilverletzungen, Nervenläsionen

besonders des Nervus axillaris und Plexus brachialis, ACL.-subluxation und -luxation, Frakturen des Schulterblattes, seltener des Humerus und der Clavicula. Distorsionen, Sehnenrisse, Nervencontusionen, Sub- und Luxationen des Glenohumeral-, ACL.- und Sternoclaviculargelenkes, Frakturen des Humerus und der Clavicula werden durch indirekte Traumata hervorgerufen. Die Verletzungen des Schultergürtels teilen sich prozentual folgendermaßen auf : 40 % Claviculafrakturen, 30 % Glenohumeralluxationen, 20 % Frakturen des Humeruskopfes und -halses, 5 % Skapulafrakturen, 4 % Acromioclavicularluxationen, 1 % Sternoclavicularluxationen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll nun näher auf die Verletzung der Clavicula eingegangen werden. Die Häufigkeit der Claviculafrakturen wird unterschiedlich mit 8 bis 16 % aller Frakturen angegeben. Das männliche Geschlecht zeigt eine deutliche Bevorzugung im Erwachsenenalter mit 70 bis 80 %. Aber auch Kinder erleiden sehr häufig diese Fraktur. Dies erklärt sich aus der frühzeitigen Verknöcherung und einem vorzeitigen Elastizitätsverlust des Schlüsselbeines. Claviculafrakturen entstehen fast ausschließlich durch indirekte Traumata (94 %); ein direktes Trauma und sogenannte Muskelzugfrakturen sind selten. Sie erfolgen meist durch einen Sturz auf die Schulterspitze - das Acromion -, seltener durch einen Fall auf den Ellenbogen oder die Hand. Dabei ist dann eine Voraussetzung, daß der Arm mindestens um 45° abgespreizt gehalten wird, damit die Gewalt sich über das Glenohumeralgelenk auf das Schlüsselbein fortleiten kann. Zwischen dem Angriffspunkt der Gewalt und dem Brustbein wird eine Energie frei, die das Schlüsselbein in Schwingung versetzt. Diese Schwingungsvorgänge lassen die Clavicula meist an typischer Stelle frakturieren. Es ist das mittlere Drittel am Übergang zum acromialen. Beim Fall auf die Schulter verstärkt die gleichzeitige Abwärts- und Medialbewegung der Skapula die torquierenden und komprimierenden Frakturkräfte. Die Brucharten sind Biegungs-, Splitter- oder Drehbrüche. Direkte Traumata können das Schlüsselbein an jeder Stelle frakturieren, meist in Form eines Querbruches. Besonders widerstandsfähig gegen Querbrüche ist der sternale Anteil der Clavicula infolge eines achsengerichteten Trabekelwerkes. Selten kann man sogenannte Muskelzugfrakturen beobachten. Sie treten beim Stoß der oberen Extremität in den leeren Raum oder beim Heben einer sehr schweren Last auf. Einmal kommt die Fraktur zustande durch den gleichzeitigen antago-

nistischen Zug vom Muskulus sternocleidomastoideus einerseits und Muskulus deltoideus und pectoralis maior andererseits. Im anderen Fall bricht die Clavicula wegen zu starker Biegung über der ersten Rippe. Nur erwähnt werden sollen pathologische Frakturen bei Metastasen, Knochentumoren und Syphilis. Neugeborene können bei Spontangeburt und normaler Lage Schlüsselbeinfrakturen erleiden. Meist liegt dann ein Mißverhältnis zwischen kindlicher Schulterbreite und mütterlicher Beckenbreite vor sowie eine zu schnelle Austreibungsphase. Nicht zu vergessen sind geburtshelferische Maßnahmen bei den Frakturen der Neugeborenen. Meist frakturiert dann die vordere Clavicula im mittleren Abschnitt.

Bei der "typischen" Claviculafraktur liegt der Bruchspalt im medialen Drittel. Die Lokalisation macht 79 % aller Schlüsselbeinfrakturen aus. 41 % aller Claviculafrakturen treten am Übergang zwischen medialem und acromialen Drittel, 38 % direkt im mittleren Drittel, 18 % im acromialen Drittel und 2 % im sternalen Drittel auf. Bei der typischen Claviculafraktue werden divergierende Muskelkräfte frei, die zur Dislokation der Fragmente mit Verkürzung des Schultergürtels führen. Das laterale Fragment verschiebt sich nach unten, nach vorn und innen. Die Dislokation kommt teils durch das Gewicht des Armes, teils durch den Zug der axioscapularen und axiohumeralen Muskulatur zustande. Gleichzeitig mit dem lateralen Fragment neigt sich und sinkt das Schulterblatt ab; der spinale Rand entfernt sich von der Dornfortsatzreihe und ist von der Thoraxwand abgehoben. Das innere Fragment verschiebt sich durch den Muskelzug des Muskulus sternocleidomastoideus nach oben und hinten. Die beiden Fragmente bilden einen offenen Winkel nach vorn und unten. Die Bruchstücke sind sehr häufig gegeneinander verschoben, wobei das mediale Fragment über dem lateralen reitet. Es resultiert eine Verkürzung

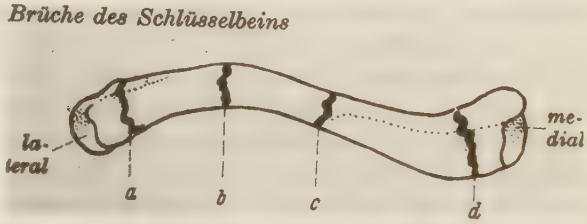


BILD 4 : Typische Frakturlokalisationen der Clavicula

a)acromiale bzw. laterale Fraktur
b)typische mediolaterale Fraktur
c)typische mediale Fraktur
d)sternale Fraktur

der acromiosternalen Knochendistanz von ca. 2 bis 4 cm bei einer Verschiebung von durchschnittlich 1 bis 2 cm. Diese typische Dislokation findet man vorwiegend bei Schrägfrakturen, während bei Quer- und Torsionsfrakturen die Fragmente sich verhaken können und somit die beschriebenen Verschiebungen ausbleiben können.

Die lateralen Frakturen des Schlüsselbeines machen 18 % aller Brüche aus. Sie spielen sich in dem flachen Teil des Schlüsselbeines, der an der Unterfläche in seiner ganzen Länge vom coracoiden Tuberkel bis zur Gelenkkapsel des ACL.Gelenks den Ansatz für das wichtige coracoclaviculäre Band bildet. Rein anatomisch, aber auch von der Prognose und Therapie her, muß man die Frakturen im acromialen Drittel in zwei Typen unterteilen. Bei der einen Bruchart bleiben die coracoclaviculären Bänder intakt und halten somit die Fragmente zusammen. Eine starke Verschiebung und Rotation gegeneinander ist ausgeschlossen. Dieser Frakturtyp ist relativ symptomarm; es bestehen lokale Schwellung, Druckschmerz und evtl. eine Ecchymose. Armheben und Rückenlage bereiten Schmerzen.

Dieser Bruch konsolidiert schnell und gut und bedarf keiner aufwendigen Behandlung; Spätkomplikationen sind nicht zu erwarten. Nur wenn der Frakturspalt in die Gelenkfläche des Acromioclaviculargelenkes zieht und ihre Oberfläche verkantet, kann nach gewisser Latenz eine Arthrose des Acromioclaviculargelenkes auftreten.

In der zweiten Gruppe der distalen Frakturen werden alle Brüche zusammengefaßt, bei denen das coracoclaviculäre Band vom medialen Bruchstück abgerissen ist. Am lateralen Fraktursegment bleibt der Bandapparat zumindest bis auf den trapezoiden Anteil erhalten. Es kommt zur Dislokation durch vier starke Kräfte, die eine Fragmentvereinigung erschweren. Das Gewicht des Armes zieht das äußere Fragment nach unten und vorne. Die axioscapulare und axiohumerale Muskulatur verschiebt das laterale Bruchstück medialwärts und läßt damit die Fragmente sich überlagern. Der claviculäre Anteil des Muskulus trapezius zieht das freibewegliche mediale Bruchstück nach hinten und drückt das freie Ende in die übrige Trapeziusmuskulatur. Dadurch ist dieser Frakturtyp sehr schmerzhaft. Der Abriss des coracoclaviculären Bandes vom medialen Fragment verhindert bei der Skapularotation eine Drehung des medialen Schlüsselbeinabschnittes in seiner Längsachse. Diese Tatsache ist für

die Frakturbehandlung von Bedeutung; auf sie wird im entsprechenden Abschnitt noch einmal eingegangen werden. Diese Art von lateralen Frakturen ereignet sich bei Gewalteinwirkungen auf die Schulter, die den Humerus und die Skapula nach unten reißen. Sie kommen erst bei größeren Verletzungsenergien zustande, sodaß diese Brüche häufig von ausgedehnten lokalen Gewebeverletzungen und weiteren Frakturen des Acromions und des Schulterblattkörpers sowie der Rippen begleitet sind. Hals- und Kopfverletzungen sieht man dabei in ca. 10 % der Fälle.

Frakturen im sternalen Drittel sind relativ selten und machen nur etwa 2 % aller Claviculabrüche aus. Sie entstehen meistens durch direkte Gewalteinwirkung und zeigen dann den dafür typischen Querbruch. Selten trifft man in diesem Bereich auch einmal einen Torsionsbruch mit mehr transversal verlaufender Frakturlinie. Oftmals fehlt bei diesen Brüchen eine Dislokation der Fragmente. Es bestehen dann nur lokaler Druckschmerz, eine Schwellung, die sich am Muskulus sternocleidomastoideus entlangzieht, und eine nicht unbeträchtliche Ecchymose der Hals- und Thoraxhaut. Zur Dislokation kommt es erst, wenn die Bruchstelle außerhalb des costoclaviculären Bandapparates liegt. Das laterale Fragment verschiebt sich entsprechend dem Zug des Muskulus pectoralis maior nach unten. Gelegentlich wird es aber durch Herabfallen des Schultergürtels über die erste Rippe nach oben gehebelt. Liegt die Fraktur iuxtaarticulär, so kann sie eine Luxation vortäuschen.

K o m p l i k a t i o n e n des S c h l ü s s e l b e i n b r u c h e s. Eine offene Claviculafraktur bildet eine große Ausnahme außer bei Verletzungen durch Schuß oder andere starke direkte Gewalteinwirkungen; denn die Elastizität bzw. Reißfestigkeit der Haut in dieser Region ist sehr groß. Mit einer Häufigkeit von etwa 1 % treten bei Claviculafrakturen Läsionen des Plexus brachialis oder der Trunci auf. Mediale Frakturen mit starker Dislokation oder Splitterbrüche können ihre Ursache sein. Hypo- und Paraesthesien, Neuralgien und schlimmstenfalls Lähmungen sind die Folge. Von der anatomischen Lagebeziehung der Trunci zur Clavicula her sind besonders die Nervi muskulocutaneus, radialis und medianus, weniger der Nervus ulnaris betroffen. Der Nerv, der den Muskulus pectoralis maior innerviert, kann auch einmal ganz isoliert geschädigt werden.

Pleuropulmonale Verletzungen entstehen noch seltener mit einer Frequenz unter 1 %. Eröffnungen der Pleurahöhlen oder Anspießung des Lungengewebes treten nur bei schwersten direkten Traumata mit extremer Dislokation auf. Die damit verbundenen Folgen entsprechen denen bei Rippenfrakturen und erfordern dieselbe Therapie. Ebenso rar sind Begleitschädigungen der großen subclaviculären Gefäße. Die Vena subclavia wird häufiger verletzt als die gleichnamige Arterie. Denn die Rückseite des inneren Drittels der Clavicula steht in unmittelbarer Verbindung mit der Vene, während die Arterie noch durch den Muskulus scalenus anterior in diesem Bereich geschützt wird. Bei der Venenverletzung bildet sich ein riesiges Hämatom aus, das sich entlang der subclaviculären und Halsgefäße über die Pleurakuppel und unter die Pectoralismuskulatur ergießt und die Supraclaviculargrube vorwölbt. Der Arm schwillt an, sieht livide aus, die Venen sind gestaut,und es treten Paraesthesien auf. Die Arterie kann durch ein Knochenfragment oder Hämatom okkludiert werden, kann thrombosieren oder ein Aneurysma spurium ausbilden. Bei gleichzeitiger Arterien- und Venenverletzung kann ein arteriovenöses Aneurysma entstehen.

L u x a t i o n e n d e r C l a v i c u l a. Sie sind ungleich seltener als ihre Frakturen. Das Verhältnis berechnet sich etwa auf 4 : 1. Ihre Bedeutung im Hinblick auf die Schulterbeweglichkeit ist aber nicht minder groß, wenn nicht sogar einschneidender; denn bei den Verrenkungen liegen ja Läsionen im Bereich der Bewegungszentren des Schlüsselbeines vor. Unter einer Luxation versteht man eine Verschiebung von Gelenkflächen mit Verlust ihrer Kongruenz. Die traumatischen Luxationen, von denen hier nur die Rede sein soll, werden stets von einer Ruptur der Gelenkkapsel und ihrer Verstärkungsbänder begleitet. Am Schlüsselbein kann man nun acromiale und sternale Luxationen unterscheiden, die je nach ihrer Luxationsrichtung noch unterteilt werden.

A c r o m i a l e L u x a t i o n e n sind etwa viermal häufiger als sternale. Bei den Luxationen im Acromioclaviculargelenk gibt es folgende Verrenkungstypen, die nach der Richtung der luxierten Clavicula benannt werden : die supraacromiale, infraacromiale, supraspinale und subcoracoidale Luxation. Die supraacromiale Luxation ist bei weitem die häufigste, und wenn

man von einer acromioclaviculären Luxation spricht, dann ist gewöhnlich sie gemeint. Die ACL.Luxation entsteht durch indirekte Gewalteinwirkung. Beim Fall auf die Schulterspitze mit angelegtem Arm wird die Skapula medial und abwärts gepreßt; das Schlüsselbein folgt ihr, dabei wird es dann gegen die erste Rippe gedrückt,und es entsteht eine Gegenkraft, die sich auf die scapuloclaviculären Verbindungen auswirkt. Kommt es nicht zum Biegungsbruch über der ersten Rippe, so reißen die Verbindungen,und die vollständige ACL.Luxation ist vorhanden. Der Unfallmechanismus bei der acromioclaviculären Subluxation ist ein ganz anderer. Beim Fall auf die Hand oder den Ellenbogen wird die Energie über den Humerus, der meist leicht vorwärtsflektiert oder abduziert gehalten wird, und das stabile Glenohumeralgelenk auf das Acromion fortgeleitet; dabei wird die Skapula auf- und medialwärts gestoßen. Die ganze Energie wirkt sich auf die ACL.Gelenkkapsel und ihre Verstärkungsbänder aus, während die coracoclaviculären Bänder entspannt bleiben. Die Beschreibung hat schon gezeigt, daß zu der Subluxation, bei der die verschobenen Gelenkflächen noch in Kontakt zueinander stehen, ein unversehrtes coracoclaviculäres Band gehört. Bei der totalen Luxation sind die Gelenkkapsel, die ACL.Bänder und das coracoclaviculäre Band zerrissen. Die Ligamenta acromioclavicularia, die die Gelenkkapsel verstärken, vertragen einen Zug von ungefähr 40 kp. Die Zugfestigkeit des coracoclaviculären Bandes beträgt 80 kp. Bekanntermaßen kann der Schultergürtel aber viel höheren Kräften ausgesetzt werden; dabei übernimmt die Muskulatur einen großen Anteil der Belastung.

Die vollständige Luxation setzt voraus, daß sich die Gelenkflächen um mehr als eine Gelenkbreite verschoben haben, infolgedessen ist bei ihr das Schulterrelief viel stärker entstellt als bei der Subluxation. Die Schulterrundung ist mehr oder weniger stark eckig deformiert durch die über das Acromion nach hinten gezogene Clavicula. Infra- und supraclaviculäre Grube sind verstrichen. Hämatom oder Fettpolster können diesen Befund verschleiern. Durch Senken der Schulter bei einwärts gedrehtem Oberarm und gestreckter Halswirbelsäule kann diese Schulterstufe aber vergrößert werden. Diese Prüfung erleichtert die Diagnose und erlaubt sogar eine Differenzierung zwischen Sub- und Luxation. Neben dieser Deformierung der Schulterrundung erscheint der Arm auf der kranken Seite verlängert und die Schulterbreite verschmälert; denn die Skapula

nähert sich der Wirbelsäule und rotiert durch die Schwere des Armes nach innen, weil sie nicht mehr von der Clavicula fixiert wird. Dieses Skapulaabgleiten führt zu einer Leistungsinsuffizienz der Schulter- und Oberarm-Muskulatur. Ihre Ansatz- bzw. Ursprungspunkte werden verlagert, sodaß sich ihre Kraftwirkung und -richtung ändert. Diese Leistungsstörung ist nur temporär, bei veralteten Luxationen tritt eine Adaptation ein. Oftmals fühlt man bei der Palpation der traumatisierten Schulter einen derben Strang, der zum Humerus zieht. Er entspricht dem pathologisch überdehnten claviculären Anteil des Muskulus deltoideus. Bei der ACL.Luxation kommt es fast immer zu Zerreißungen oder sogar zu Abrissen der Muskelinsertionen im lateralen Drittel der Clavicula. Beim Muskulus trapezius kommt es neben Verletzungen an der claviculären Insertion häufig auch zu einem Einriß der Muskulatur in Richtung der Muskelfasern zwischen der Pars clavicularis und Pars acromiospinalis, sodaß ein horizontal gelegener dreieckiger Spalt im Muskel entsteht. Der Muskulus deltoideus zeigt Läsionen im claviculären Ansatzbereich. Die Gelenkkapsel und ihre Verstärkungsbänder sind völlig zerfetzt, der intraarticuläre Discus ist meistens verlagert. Das coracoclaviculäre Band reißt in seiner Mitte oder am Ansatz des Coracoids; selten wird die Ruptur von einer Fraktur des Prozessus coracoideus begleitet.

Die Subluxation des ACL.Gelenkes, die ohne Ruptur des coracoclaviculären Bandes einhergeht, zeigt nur lokalen Druckschmerz und eine geringe Deformierung der Schulter, wobei die Clavicula weniger als eine Gelenkflächenbreite höher steht. Die Beweglichkeit des Armes ist nur geringgradig durch Schmerzen eingeschränkt. Die übrigen Symptome und Veränderungen wie die Skapuladislokation und die Muskelläsion fehlen. Die übrigen Luxationstypen des ACL.Gelenkes sind wie schon erwähnt sehr selten. Direkte Traumata verursachen sie meist . Die subcoracoidale und infraacromiale Luxation kann aber auch durch starkes Zerren des Armes nach außen und oben, die Luxatio supraspinata durch extreme seitliche Kompression der Schulter z.B. beim Überfahrenwerden entstehen. Bei diesen seltenen Luxationsformen ist die Schulterbeweglichkeit stark gestört, die Nebenverletzungen sind oft beträchtlich. Neben Kapsel- und Bandläsionen ist auch hier meistens das coracoclaviculäre Bandsystem mit zerrissen. Deshalb stellen diese seltenen Luxationsformen

neben ihrer direkten sperrenden Wirkung des Schlüsselbeines dieselben funktionellen Probleme wie die supraacromiale Luxation.

Differentialdiagnostisch müssen die ACL.Luxationen von lateralen Clavicula- und Acromionfrakturen abgegrenzt werden. Die Schultereckluxation, besonders die Subluxation wird oft übersehen und als Schulterprellung abgetan. Eine exakte Inspektion und Palpation genügen eigentlich schon zur Diagnose. Erwähnenswert ist das Klaviertastenphänomen bei der Subluxation; dabei läßt sich das erhobene Schlüsselbeinende federnd ins Gelenk zurückdrücken. Zur besseren Dokumentation und zum Vergleich mit dem Behandlungsergebnis können a.p. Röntgenaufnahmen im Stehen und mit Zug am Arm, wodurch die Luxation eindeutig demonstriert wird, angefertigt werden. Bei der frischen Luxation erlaubt die Röntgenaufnahme mit Belastung - das heißt 10 kp Zuggewicht an beiden Armen-, die genaue Differenzierung zwischen Luxation und Subluxation. Weiterhin sollte noch eine axiale Aufnahme durch die Achselhöhle erfolgen, um über den Grad der Vor- und Rückwärtsverlagerung des acromialen Endes genau unterrichtet zu sein. Die Röntgendiagnostik der Claviculafrakturen erfordert ebenfalls ein a.p. Aufnahme, die aber im Gegensatz zur Luxation im Liegen angefertigt werden kann. Wichtiger als bei der Verrenkungsdiagnostik ist es für die Therapie, beim Bruch den Grad der Fragmentdislokation in der anterioposterioren Ebene festzustellen. Deshalb sollten zwei Schrägaufnahmen im Winkel von 45 ^{o} anterior und posterior geschossen werden. Die a.p. Aufnahme mit Gewichtsbelastung leistet bei der lateralen Fraktur gute Dienste zur Abklärung, ob das coracoclaviculäre Band vom medialen Fragment abgerissen ist.

S t e r n a l e L u x a t i o n. Je nach Richtung der Gewalteinwirkung kann das sternale Schlüsselbeinende nach vorne, nach hinten oder nach oben luxieren. Auch hier kann man neben den Distorsionen zwei Schweregrade der Luxation unterscheiden. Bei einer geringeren Läsion kommt es nur zur Ruptur der Gelenkkapsel und der sternoclaviculären Verstärkungsbänder, bei schweren Traumata reißt noch das costoclaviculäre Band, und es entsteht eine vollständige Luxation. Am häufigsten tritt die prästernale Luxation auf, seltener sind die supra- und retrosternale Luxation. Bei allen sternalen Verrenkungen besteht ein einheitlicher Unfallmechanismus. Ein kräftiger Zug der Schul-

ter nach unten preßt das Schlüsselbein auf die erste Rippe, über sie wird der sternale Gelenkabschnitt nach oben gehebelt und die Clavicula luxiert aus dem Gelenk. Jenachdem, ob zusätzlich noch eine Kraft die Schulter ein- oder rückwärts drängt, kommt es dann zu einer retro- oder prästernalen Luxation . Direkte Gewalteinwirkungen auf das sternale Drittel der Clavicula führen fast ausnamslos zur gefürchteten retrosternalen Luxation, sofern keine Fraktur eintritt.

Die vollständige prästernale Luxation, das heißt mit Ruptur des costoclaviculären Bandes, behindert unter starken Schmerzen die Bewegungen des Schultergelenkes in hohem Maße. Der Kopf ist zur kranken Seite geneigt und der Muskulus sternocleidomastoideus zeigt durch pathologische Spannung ein anormales Relief. Die Bewegungen der Halswirbelsäule sind schmerzhaft eingeschränkt. Das sternale Gelenkende liegt vor dem Sternum im allgemeinen unmittelbar unterhalb der Gelenkhöhle, seltener bis zu 7 cm tiefer. Bei der inkompletten Luxation überragt das proximale Ende der Clavicula nur die Sternumoberfläche. Die weitaus seltenere retrosternale Verrenkung ist neben der Minderung der Schulterbeweglichkeit gefährlich, oft sogar lebensbedrohlich. Das sternale Schlüsselbeinende kann die Halsorgane alterieren und zur Dyspnoe, Cyanose, Dysphagie und zum Verschwinden des Radialispulses führen. Die durch Tracheaverlegung hervorgerufenen Atemstörungen erfordern eine sofortige Reposition. Bei der suprasternalen Luxation liegt der Schlüsselbeinkopf im Bereich des Jugulums und bildet ein deutliches Hautrelief. Wie auch bei den anderen Luxationen hängt die Schulter herab; gleichzeitig ist sie aber noch vorgeschoben.

Neben aseptischen Nekrosen, Lues, Tbc, Osteomyelitis, rheumatischen Prozessen finden sich im Sternoclaviculargelenk häufig degenerative Veränderungen infolge funktioneller Überbeanspruchung. Sie können zur Subluxationsstellung führen und haben damit differentialdiagnostische Bedeutung. Die häufigen Überlastungsarthrosen beweisen, daß dieses Gelenk starken mechanischen Belastungen ausgesetzt sein muß. Die Klinik unterstreicht also die stützende, statische Funktion der Clavicula als Strebepfeiler im Schultergürtel. Dies sollte noch einmal besonders herausgestellt werden, da diese Funktion von einigen Autoren gering eingeschätzt und hauptsächlich der Schultermuskulatur zugesprochen wird.

T h e r a p i e der C l a v i c u l a v e r l e t z u n g. Die Ansichten über die günstigste Therapie der Schlüsselbeinverletzungen sind sehr divergierend. Die Diskussion, ob konservativ oder operativ, bzw. wann konservativ oder aktiv therapiert werden soll, zeigt deutlich, daß trotz der ungewöhnlich guten Heilungstendenz und leichten Reponierbarkeit des Schlüsselbeins seine Therapie nicht leicht und problemlos und häufiger mit Komplikationen sowie funktionellen Beeinträchtigungen belastet ist. Die Angaben über den Grad und die Dauer der Erwerbsminderung, den Zeitpunkt der Rentenfreiheit, den Prozentsatz von Dauerrenten sowie über Spätschäden schwanken in den Statistiken der einzelnen Kliniken auch bei großen Kollektiven stark, sodaß eine klare Stellungnahme über eine Idealtherapie nicht möglich ist. Es werden jetzt die gängigen Behandlungsmethoden erörtert und anschließend unter funktionell anatomischen Kriterien diskutiert werden.

Die Therapie der Schlüsselbeinfrakturen war bis in die letzten Jahrzehnte hinein rein konservativ. Doch die große Zahl der Behandlungsmethodiken beweist, daß die Versorgung einer Fraktur im Bereich der Clavicula nicht ganz problemlos ist. Mit der Entwicklung operativer Techniken nehmen die Befürworter einer reinen konservativen Therapie ab. Heutzutage stehen konservative und operative Behandlungsmaßnahmen gleichwertig nebeneinander, wobei die Indikation zu der einen oder anderen Methode von den einzelnen Autoren noch sehr individuell gestellt wird. Der anatomische Aufbau des Schultergürtels bedingt die Problematik der Claviculafraktur. Bei der Fraktur des Schlüsselbeines werden divergierende Muskelkräfte frei, die zur Dislokation der Fragmente und Verkürzung des Schultergürtels führen. Eine muskuläre Selbsteinrichtung oder Fixation fehlt völlig. Diese anatomische Konstellation bereitet der Retention einer Fraktur große Schwierigkeiten. Die Reposition hingegen gelingt meist leicht, weil die Clavicula mit einem Gelenk am Stamm verbunden und sonst vornehmlich muskulär fixiert ist. Die konservative Behandlung versucht nur durch Extension die fast immer bestehende Verkürzung zu beseitigen und gleichzeitig eine Ruhigstellung zu erreichen. Ca. 200 verschiedene konservative Methoden sind beschrieben. Keine bietet eine sichere Fixation. Trotz schlechter Retentionen bei Verbands- oder Schienenanordnungen kommt es fast immer zur Bruchheilung. Die Pseudarthrosehäufigkeit liegt bei der konservativen Therapie etwas unter 1 %. Diese beruhigende Tatsache spricht nicht für die konservati-

von Maßnahmen, sondern für die enormen reparativen Kräfte der Clavicula. Diese Eigenschaft rührt wohl daher, daß dieser Röhrenknochen der einzige des menschlichen Skelettes ist, der auf bindegewebiger Grundlage entsteht und auch nicht den Aufbau eines Röhrenknochen besitzt.

Hier soll nur eine kleine Auswahl und zwar der noch üblichen oder in der Fachliteratur der letzten Jahre aufgezählten konservativen Methoden erwähnt werden. Die rein funktionelle Behandlung ohne jedweden Verband eignet sich nur für Frakturen ohne wesentliche Dislokation, das heißt fast ausschließlich für Grünholzfrakturen bei Kindern oder Infraktionen. Die konservativen Therapieverfahren sollen die nach auswärts und rückwärts gezogene Schulter in ihrer Stellung halten. Hinsichtlich der Retention können zwei Behandlungsgruppen unterschieden werden: einerseits fixierende Verbände und andererseits Maßnahmen, die nur einer äußeren Schienung dienen. Die zweite Methodik hat immer mehr Eingang in die moderne Therapie gefunden, da die fixierenden Verbände weder eine sichere Retention gewährleisten noch das Skapulohumeralgelenk in einer physiologischen Ruhestellung halten, außerdem als sehr lästig empfunden werden. Zu diesen überholten Fixationsmethoden gehören die Thoraxabduktionsschiene, der Extensionsverband nach Bardenheuer, der Thoraxabduktionsgips, der Desaultgipsverband und Conwells lateral traction. Diese fixierenden Methoden haben neben ihrer oft ungenügenden Fixation auch noch den Nachteil, daß sie keine funktionellen Behandlungsmaßnahmen zulassen. Gerade im Bereich des Schultergürtels spielt die funktionelle Behandlung von Frakturen zur Erhaltung der Beweglichkeit der benachbarten Gelenke eine dominierende Rolle. Man versucht, die Ruhigstellung auf ein Minimum zu begrenzen. Deshalb bedient man sich heute bei der Claviculafraktur kon-

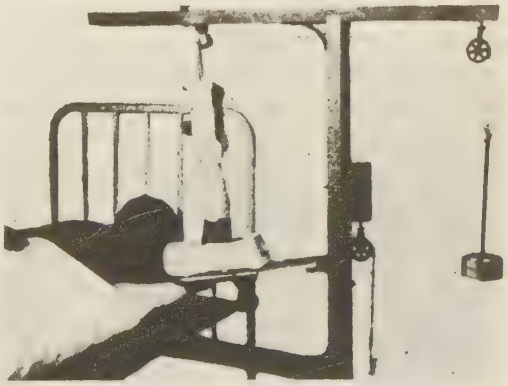


BILD 5 : Conwell's Lateral Traction

servativer Methoden, die die Fraktur nur schienen und frühzeitige Bewegungen in den Nachbargelenken erlauben. Zu diesem Behandlungsverfahren gehört der Rucksackverband nach Madsen mit Anhebung der Schulter durch verstärkte Polsterung in der Achsel. Er ist indiziert bei Verletzten jeden Alters mit nicht erheblich dislociertem Bruch. Ebenfalls zur Anwendung kommen heute noch die Heftpflasterverbände nach Conwell und Sayre. Der Verband nach Romer Frank eignet sich vornenmlich für laterale Schlüsselbeinfrakturen, da er noch besonders die Skapula bei freier Beweglichkeit im Glenohumeralgelenk fixiert. Er muß aber leider alle vier Tage erneuert werden. Der Desaultsche Verband mit Anhebung der Schulter auf der verletzten Seite ist als Dauertherapie über vier bis fünf Wochen nicht zu empfehlen, da oft Dekubitus, Zirkulationsstörungen, Lähmungen und Gelenkversteifungen mit der Zeit auftreten können. Wegen seiner primär günstigen schmerzstillenden Wirkung kann er aber als einleitende Maßnahme für 10 bis 14 Tage mit anderen Behandlungsmethoden kombiniert werden. Sehr gute Ergebnisse haben einige Autoren mit der Böhlerschen Schlüsselbeinschiene erzielt. Sie entspricht auch einer modernen, funktionellen Behandlung, da sämtliche Gelenke frei beweglich sind. Während der Behandlung auftretende Fragmentverschiebungen können leicht durch Umstellung der Schiene beseitigt werden. Sie beeinträchtigt den Patienten nur wenig. Es bedarf aber einer gewissen Kenntnis und Erfahrung, um diesen Apparat fachgerecht anzulegen. Bei schlechter Adaptation können nämlich Plexuslähmungen auftreten. Der vorgenannten konservativen Methoden bedient man sich im allgemeinen heutzutage. Unter jenen wird der Rucksackverband weitaus am häufigsten an-

BILD 6 und BILD 7 : Rucksackverband aus mit Watte gefülltem Trikotschlauch, Polster als Schutz und Hypomochlion in den Achselhöhlen.

gewandt, ungefähr in 80 % der Fälle. Bei Patienten, die wegen anderer Verletzungen im Bett liegen müssen, sind diese Verbände natürlich wirkungslos. Ihre Fraktur sollte entweder operativ oder konservativ mit der Bardenheuerschen Extension behandelt werden. Auch die Vertreter der rein konservativen Therapie sind sich bewußt, daß ihre Maßnahmen keine absolute sichere Retention gewährleisten; doch kommt es fast immer auch bei Instabilität und schlechter Fragmentadaptation zur Frakturheilung, und auch stark disloziert geheilte Brüche zeigen nach Angaben vieler Autoren sehr häufig ein gutes funktionelles Ergebnis.

In letzter Zeit mehren sich aber die Stimmen, die die Schlüsselbeinfraktur nicht für ganz so harmlos halten, wie es früher getan wurde. Bei oberflächlicher Betrachtung sind die Behandlungsergebnisse gut, doch zeigen exakte Nachuntersuchungen häufiger als erwartet funktionelle Einschränkungen im Schultergürtel. Deshalb ist die Therapie von Claviculafrakturen in den letzten Jahrzehnten immer mehr differenziert worden, und operative Maßnahmen nehmen heute einen größeren Raum ein. Früher waren die absoluten Indikationen zur Operation folgende : 1. Gefäßnervenschädigungen, 2. Weichteilinterposition bzw. sonstige Repositionsschwierigkeiten, 3. Pseudarthrose. Relative Indikationen bildeten die Trümmerfraktur, doppelseitige Frakturen bei respiratorischer Insuffiziens sowie Frakturen bei bettlägerigen Patienten. Diese Indikationen gelten auch heute noch, doch sind zahlreiche Autoren mit dem operativen Vorgehen großzügiger, weil bei der konservativen Bruchbehandlung Verletzungsfolgen zurückbleiben. Ein schlechtes kosmetisches Ergebnis ist häufig die Folge konservativer Maßnahmen. Eine Operationsnarbe ist aber oft nicht weniger entstellend, sodaß dieser Nachteil konservativer Therapie durch Operation nicht aufgehoben werden kann. Man erwartet jedoch von der aktiven Therapie eine völlige spätere Bewegungsfreiheit in den Schultergelenken und eine absolute Schmerzfreiheit der Schulter beim Lastentragen. Früher schreckten die Osteomyelitis und die häufigen Pseudarthrosen -bis zu 10 %- die meisten Chirurgen von operativen Maßnahmen ab. Die Infektionsgefahr dürfte heute bei optimalen Arbeitsbedingungen für die Knochenchirurgie und entsprechendem Antibiotikaschutz stark reduziert sein. Die Pseudarthrosen nach Operationen beruhen auf insuffizienten Methodiken. Auch die operative Therapie von

Claviculafrakturen hat schon eine längere Entwicklung durchgemacht. Osteosynthetische Maßnahmen mit Eisenplättchen, Drahtnaht der Fragmentenden, Cerclage der Bruchstücke mit Catgut oder Perlon gehören der Vergangenheit an, da sie keine stabile Osteosynthese bewirken und infolgedessen mit einer hohen Pseudarthroserate belastet sind. Die Methode der Wahl bei der typischen Claviculafraktur sind heutzutage 1. das AO-Plattenverfahren und 2. die axiale Nagelung, entweder mit einem Kirschnerdraht oder einem Rush pin. Weitere Operationsverfahren zur Retention der Claviculafraktur sind die Kompressionsosteosynthese nach V.Schwier und die Draht-Naht.

Zur AO-Plattenosteosynthese verwendet man je nach der Frakturlokalisation und dem Krümmungsradius der Clavicula 5 oder 6 Loch Halb- oder Drittelrohrplatten. Mit den neuen Halbrohrplatten kann man auch noch durch asymmetrische Schraubenlöcher einen zusätzlichen Kompressionseffekt der Fragmente beim Eindrehen der Schrauben erzielen. Die Gefahr, daß es zu Drucknekrosen kommt, weil die Platte und die Schraubenköpfe dicht unter der Haut liegen, ist nicht so groß wie allgemein angenommen wird. Der einzige Nachteil dieser Methode ist eine relativ lange Operationsnarbe.

Die axiale Nagelung des Schlüsselbeines ist keine Marknagelung wie an den anderen Röhrenknochen. Infolge seiner besonderen Entwicklung auf bindegewebiger Grundlage besitzt es keine Markhöhle, sondern wird von einer honigwabenartigen spongiosaähnlichen Struktur durchzogen. Dieser Knochenaufbau gibt dem Kirschnerdraht einen guten Halt und führt zu einer festen Retention. Bei der Rush pin Therapie ist aus demselben Grunde die sonst übliche Dreipunktfixation nicht erforderlich. Zusätzlich führen die Krümmungen der Clavicula zu der sonst aus der Schränkung des Nagels resultierenden Fixation. Bei der Kirschnerdraht-Therapie wird über der Clavicula parallel und in Höhe des Bruchspaltes inzidiert. Ein 2 bis 3 mm dicker Kirschnerdraht mit Bohrspitze wird vom Frakturspalt her in das laterale Fragment bis durch die Haut eingebohrt; dabei soll das Acromioclaviculargelenk nicht lädiert werden. Danach wird die Fraktur reponiert und der Kirschnerdraht vom anderen Ende her in das proximale Fragment eingebohrt, soweit, bis das stumpfe Drahtende an der Corticalis anstößt. Diese Methode ist relativ einfach; das Hauptproblem liegt aber darin, den Kirschnerdraht

weit genug in das proximale Fragment hineinbohren zu können, um eine Fixation zu erhalten. Leider kommt es im Bereich des Bruchspaltes häufig zu Abknickungen des Drahtes, woraus eine Winkelbildung der Fragmente resultiert. Der Winkel zeigt meist nach oben und vorne. Weiterhin garantiert der Kirschnerdraht keine axiale Rotationsstabilität des Schlüsselbeines. Die Kirschnerdraht-Osteosynthese führt deshalb nicht selten zu deform geheilten Frakturen und Pseudarthrosen. Für eine optimalere Osteosynthese ist also ein stabilerer und besser schienender Nagel erforderlich. Er muß annähernd so widerstandsfähig sein wie das gesunde Schlüsselbein. Diese mechanische Eigenschaft bringt der Rush pin Nagel für eine stabile Fixation mit sich, sodaß der Bruch sich nicht abwinkeln kann, und ohne daß infolge Instabilität die Callusbildung verzögert ist. Fast immer wird durch den Rush pin auch eine Rotationsstabilität erhalten. Einen weiteren Vorteil neben dem kräftigen Querschnitt bietet der Gleitschlitten an seiner Spitze. Mit der Entfernung eines Rush pins braucht man sich nicht zu beeilen, da er einerseits fest in der Spongiosa verankert ist, andererseits die gekrümmte Spitze eine Wanderung des Nagels unmöglich macht. Eine geschlossene Nagelung der Clavicula stößt wegen ihres geschwungenen Verlaufes auf Schwierigkeiten; deshalb muß die Fraktur freigelegt und offen reponiert werden. Das mediale Fragment wird von sternal her mit einer Reibeahle aufgebohrt, sodaß noch eine zweite Incision vorgenommen werden muß. Das laterale Fragment wird vom freigelegten Frakturspalt her aufgebohrt. Dabei kann ohne Bedenken die Corticalis am acromialen Ende durchstoßen werden. Ein herausstehender, also etwas zu langer Nagel, gewährleistet eine bessere Stabilität als ein zu kurz gewählter. Die Mindestlänge eines Rush pins soll 8 cm nicht unterschreiten. Besonders wichtig ist es, intraoperativ die versorgte Fraktur auf ihre axiale Rotationsstabilität zu prüfen. Die Operation geht schnell - sie dauert 10 bis 15 Minuten - , und es resultieren zwei kleine 1 1/2 cm lange Incisionen. Diese Osteosyntheseform bietet eine sofortige Bewegungsstabilität, sodaß meist postoperativ mit Rotationsbewegungen im Schultergelenk begonnen werden kann. Bei der Kirschnerdraht-Fixation ist noch längere Immobilisierung mit den üblichen konservativen Methoden nötig, um Drahtbruch, Drahtknickung und der damit verbundenen Pseudarthrosebildung vorzubeugen. Außerdem fördern stärkere Bewegungen im Schultergelenk die Draht-

wanderung und beschwören somit tödliche Komplikationen herauf. Nach der Rush pin Nagelung wird die Arbeitsfähigkeit durchschnittlich nach 2 bis 3 Wochen erreicht, während bei den konservativen Behandlungsmaßnahmen die völlige Erwerbsfähigkeit meist erst nach 1/2 bis 3/4 Jahr eintritt. Bei den mit Rush pin versorgten Patienten betrug die Erwerbsminderung durch Unfallfolgen bereits nach 5 bis 6 Wochen weniger als 10 % (Crone-Künzebrock). Neben der Verkürzung von Behandlungsdauer und Erwerbsminderung zeichnet sich diese Methode durch gute kosmetische Ergebnisse bei geringer Entstellung durch zwei kleine Narben aus. Die Beweglichkeit im Schultergürtel zeigt keine Funktionseinschränkungen,auch die direkte Belastung des verletzten Schlüsselbeines ist nach Behandlungsabschluß beschwerdefrei.

Ein weiteres Operationsverfahren im Sinne einer axialen Nagelung ist die Kompressionsosteosynthese nach V.Schwier. Dabei wird ein Markgewindestift nach Vorbohren und Reposition der Fragmente von medial soweit vorgeschlagen, bis er aus dem Bohrkanal des lateralen Fragmentes austritt. Dann werden die Fragmente durch Festziehen einer Schraube komprimiert.

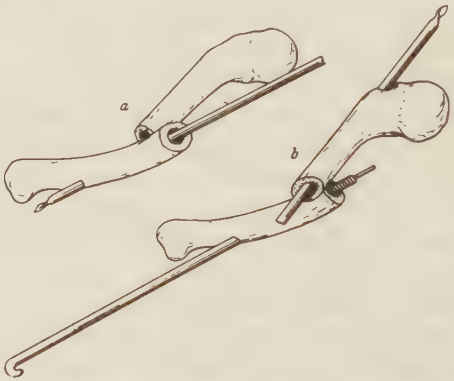


BILD 8 : Kompressionsosteosynthese nach v.Schwier

Unter den operativen Methoden zur Versorgung einer typischen Claviculafraktur sind das AO Plattenverfahren und die axiale Nagelung die geeignetesten Maßnahmen. Der Rush pin ist dem Kirschnerdraht vorzuziehen, da er eine stabilere Osteosynthese garantiert, mit weniger Komplikationen belastet ist und schneller zur Heilung führt.

Da Frakturen des lateralen Drittels meist nicht mit einer AO Platte oder einem Rush pin versorgt werden können, ist eine Osteosynthese mit Kirschnerdrähten angezeigt. Geht die Fraktur bis in das Acromioclaviculargelenk, so führt man eine

Zuggurtung und Umschlingung mit Kirschnerdrähten durch. Bei fehlender Gelenkalteration kann man neben der Zuggurtungsdrahtnaht zusätzlich durch das ACL.Gelenk eine Malleolarschraube in der Längsachse temperär einschrauben.

BILD 9 : Drahtzuggurtung und Umschlingung bei lateraler intraartikulärer Claviculafraktur

Diesen idealen Methoden ist es zu verdanken, daß immer mehr Chirurgen aus funktionellen Erwägungen und bei bestimmten Indikationen Schlüsselbeinfrakturen operativ versorgen.

Kasuistik

An der orthopädischen Abteilung des Städt.Rudolf-Virchow-Krankenhauses (Chefarzt Priv.-Doz.Dr.Hofmeister) wurden in den Jahren 1969/70 13 Claviculafrakturen chirurgisch versorgt. Ausnahmslos ist die AO-Osteosynthese mit Halb- oder Drittelrohrplatten durchgeführt worden.

Allgemeines Operationsverfahren : In Inhalationsnarkose wird ein etwa 10 cm langer Hautschnitt in Verlaufsrichtung der Clavicula gelegt. Nach Durchtrennen von Haut und Subkutangewebe wird der Frakturbereich freipräpariert. Der Periostschlauch wird an der Frakturstelle gespalten. Nach evtl.Abtragen von Knochenspitzen oder -kanten zur besseren Adaptation werden die Fragmente reponiert. Das Periost wird in dem Bereich der Circumferenz gelöst, an dem die Platte angelegt werden soll. Danach wird je nach dem Krummungsradius entweder eine Halb- oder Drittelrohr AO Platte, die meist dem geschwungenen Verlauf der Clavicula entsprechend vorgebogen wird, angepasst und mit Repositionszangen vorübergehend fixiert. Die Corticalisschrauben werden eingedreht und die Bewegungsstabilität geprüft. Abschließend erfolgt ein dichtes Vernähen der Weichteile.

Unter den 13 operierten Claviculafrakturen waren 7 typische, 3 laterale Frakturen und 3 Pseudarthrosen. Nur bei den Pseudarthrosen und 2 typischen Frakturen mit neurovaskulären Komplikationen bestand nach den alten Richtlinien eine Operationsindikation. Im Fall Nr.10 ist 14 Tage nach einer konservativ versorgten Claviculafraktur im Versorgungsareal des N.medianus

eine Hyp- und Paraesthesie aufgetreten. Röntgenologisch ließ sich eine Aussprengung eines Knochenstückes nachweisen. Im Fall Nr. 1 traten nach einer vierwöchigen konservativen Behandlung einer typischen Schlüsselbeinfraktur rechts im Arm ein dumpfes Taubheitsgefühl und neurovegetative Beschwerden auf. Bei Abduktion ließ sich ein Absinken des systolischen Blutdruckes um 40 mm Hg im Vergleich zu 20 mm Hg auf der gesunden Seite nachweisen.

Bei den übrigen Patienten fehlten absolute Operationsindikationen. Sie wurden alle primär konservativ mit einem Rucksackverband behandelt. Die Zeit, die zwischen dem Unfallereignis und der Operation verstrich, lag zwischen 10 Tagen und 4 Wochen. Die Ursachen, die die Patienten trotz konservativer Behandlung der Operation zuführten, waren nicht in Reposition haltbare Frakturen oder Brüche, die wie Röntgenkontrollen zeigten, zusehends unter den konservativen Maßnahmen dislozierten. Nach abgeschlossener Therapie fuhrten Beschwerden wie Schmerzen beim Tragen und Aufstützen mit dem Arm, sowie bei Seitenlage die Patienten zur Operation. Über funktionelle Einschränkungen klagten die Patienten noch nicht, da sie ihre Schulter zu diesem Zeitpunkt noch schonten.

Von den 10 Patienten mit Claviculafrakturen im medialen und lateralen Bereich des Schlüsselbeines - dabei sind die Pseudarthrosen ausgenommen - zeigten 7 Patienten bei der grobklinischen Prüfung der Schultergurtelfunktion eine Beeinträchtigung des Bewegungsausmaßes. Da die Frakturen meist schon älter als 14 Tage waren, kann eine rein schmerzreflektorische Bewegungshemmung ausgeschlossen werden. Die deutlichste Einschränkung der Schultergurtelfunktion hinsichtlich der Elevation des Armes war bei den Frakturen festzustellen, die mit einer Dislocatio cum contractione (Fall Nr.1 und Fall Nr.3), also einer Verkürzung der Clavicula einhergingen oder im acromialen Drittel (Fall Nr.8, Nr.9 und Nr.10) lagen. Im Fall Nr.5 bestand eine 4 Wochen alte Fraktur mit caudaler Achsenknickung, die ebenfalls eine deutliche Funktionseinschränkung neben lokalen Beschwerden aufwies. Auf die theoretischen Grundlagen, warum bestimmte Frakturlokalisationen und Fehlstellungen zu funktionellen Beschwerden disponieren, wird im Diskussionsteil eingegangen. Die Patienten mit Claviculapseudarthrosen klagten nicht über Bewegungseinschränkungen ihres Armes, sondern über lokale Beschwerden. Die pseudarthrotischen Schlüsselbeine waren

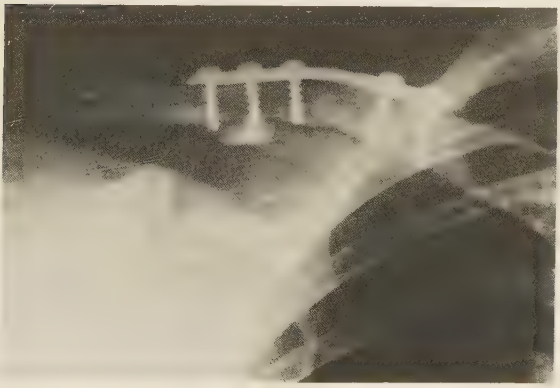
Patient	Unfallhergang	Zeit bis zur oper. Therapie	Behandlung vorher	Beschwerden z.Zt. d. Aufnahme	Klinischer Befund	Röntgen-Befund
Fall 1 K.,W. 25 J m.	Sturz auf der Strasse, Fall mit der rechten Schulter gegen Bordsteinkante	4 Wochen	Rucksackverband 3 Wochen	schmerzhaft eingeschränkte Beweglichkeit Paraesthesien und vegetative Störg. i.d.gesamten Arm	Schultertiefstand,-verkürzung Stufe mediolateral, Fragmente beweglich, Abduktion und Anteversion 140 °, Abstehen d.med.r.Skapularandes	Zustand n. alter Clavicula-fraktur, Stellungsverwerfung mit erhebl. Überlappung d. Fragmente um mehrere cm Stufenbildung
Fall 2 D.,H-D. 24 J m.	Beim Judo auf die Schulter gestürzt	4 Wochen	Rucksackverband Rö-Kontrolle: keine gute Reposition	keine	kein Druckschmerz, o.Bewegungsschmerz, med.Fragment um fast eine Claviculabreite n. proximal verschoben	Fraktur im mittleren Drittel mit Aussprengung eines größeren Corticalisfragmentes, halbschaftbreite Seitendislokal., nicht aber in der Länge
Fall 3 Q.,G. 23 J m.	Autounfall Patient schlug mit dem Oberkörper gegen Türholm	2 Wochen	10 Tage Rucksackverband Rö: schlechte Reposition	Druckschmerz und Bewegungsschmerz	Druck- und Klopfschmerz im Frakturbereich, ventrocraniale Stufenbildung, Elevation 75 °, Abduktion 70 °	Dislokatio ad latus c. contractione
Fall 4 Sch.,T. 64 J m.	Sturz auf die linke Schulter	10 Tage	Rucksackverband Rö: zunehmende Dislokation	Anteversion schmerzhaft	linke Schulter verkürzt, Knirschen der Fragmente bei Bewegung Anteversion schmerzhaft eingeschränkt	Fraktur im mittleren Drittel, ausgesprengtes kleines Fragment übliche Dislokation der Fragmente
Fall 5 B.,G. 24 J w.	Reitunfall, Pferd stürzte auf die Patientin	4 Wochen	3 Tage Rucksackverband, dann beschwerdefrei	1 Monat n.Unfall Auftreten v.Beschwerden b.Tragen v.schweren Gegenständen,Schmerzen beim Aufstützen	Schulterverkürzung,-hochstand, Skapula abgehoben, Abduktion und Anteversion 150 °	ältere Clavicula-fraktur im mittleren Drittel mit Dislokation des lateralen Fragmentes nach caudal
Fall 6 Sch.,M. 20 J m.	Reitunfall, Pferd schlug mit Huf gegen die rechte Schulter	3 Wochen	3 Wochen Rucksackverband	Schmerzen b.Tragen eines Jacketts u. bei Seitenlage	lokaler Druckschmerz, Schulterhochstand, Dislokat.d.med. Fragmentes,nach cranial und dorsal freie Beweglichkeit	nicht vorhanden

Patient	Operation	postop. Röntgenbefund	postop. Verlauf	Nachkontrolle/oder Plattenentfernung	
Fall 1 K.,W. 25 J m.	Fragmenttrennung mit der Säge, Resekt. der Enden 5 Loch AO Drittelrohrplatte	gute Fragmentstellung	Wundheilung p.p. 14.p.op.Tag Entlassung	nach 4 Monaten Plattenentfernung freie Schultergelenksfunktion	
Fall 2 D.,H-D. 24 J m.	Entfernung d. bindegewebig. Callus 5 Loch AO Drittelrohrplatte Einpassen d. Fragmentstückes	gute achsengerechte Fragmentstellung	Wundheilung p.p. 12.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 3 Q.,G. 23 J m.	6 Loch AO Drittelrohrplatte	gute Adaptation und Stellung	Wundheilung p.p. stärkere Nachblutung 11.p.op.Tag Entlassung	4 Tage nach Entlassung Wunddehiscenz, heilt sekundär, Rö-Kontrolle nach 3 Wochen : gute periostale Callusbildung	
Fall 4 Sch.,T. 64 J m.	5 Loch AO Halbrohrplatte	gute, stufenlose Adaptation	Wundheilung p.p. 13.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 5 B.,G. 24 J w.	5 Loch AO Halbrohrplatte	gute Adaptation und Stellung der Fragmente	Wundheilung p.p. 7.p.op.Tag Entlassung	nach 10 Monaten Plattenentfernung, kirschgroßer Callustumor, Lockerung der acromialen Schrauben,freie Beweglichkeit der Schulter	
Fall 6 Sch.,M. 20 J m.	5 Loch AO Drittelrohrplatte	achsengerechte Stellung	Wundheilung p.p. leichte Hämatombildung 7.p.op.Tag Entlassung	nach 7 Monaten Plattenentfernung freie Beweglichkeit der Schulter	

Patient	Unfallhergang	Zeit bis zur oper. Therapie	Behandlung vorher	Beschwerden z.Zt. d.Aufnahme	klinischer Befund	Röntgen-Befund
Fall 7 E.,U. 46 J w.	Sturz vom Pferd auf die rechte Körperhälfte	5 Tage	———	Schmerzen beim Atmen und Husten	Starker Bluterguss über der rechten Schulter, Frakturenden sind deutlich tastbar, Druck- und Bewegungsschmerz	rechts laterale Clavicula-fraktur Rippenfraktur II-IV rechts
Fall 8 F.,W. 27 J m.	Sportunfall, Mitspieler fiel auf seine Schulter	5 Wochen	Rucksackverband zunehmende Dislokation bei Rö-Kontrolle	lokale Schmerzen und Bewegungsschmerz	übliche Dislokation Bewegungen deutlich eingeschränkt	laterale Fraktur mit Verschiebung der Fragmente um eine Claviculabreite
Fall 9 K.,C-H. 50 J m.	Pferd überschlug sich mit Reiter	4 Wochen	Rucksackverband 3 Wochen	schmerzhafte Beweglichkeit des Armes	Schulterkonturen verstrichen, Kontinuitätsunterbrechung palpabel, keine wesentliche Dislokation, Bewegungseinschränkung der Schulter	Fraktur im acromialen Drittel ohne wesentliche Dislokation, Aussprengung einer Corticalislamelle
Fall 10 Sch.,E. 39 J w.	Autounfall mit stumpfem Thoraxtrauma	1 Monat	Rucksackverband 21 Tage	Auftreten von Sensibilitätsstörung im Handbereich	Hypaesthesie i.N.med.-Bereich, grobe Kraft rechts deutlich reduziert, Abdukt. 130 ° Antevers. 170 °, Adduktion eingeschränkt	Fraktur im mittleren Drittel mit Dislokatio ad latus, Aussprengung eines freien Knochenstückes
Fall 11 J.,U. 27 J m.	Auf die linke Schulter gefallen beim Sturz auf der Strasse	6 Monate	Rucksackverband 2 Monate, nach 5 Monaten Refraktur?	———	Druckschmerz, Schulterhochstand, -verkürzung, leichte Stufenbildung, Funktion frei	Clavicula-Fraktur mit Dislokation d.med.Fragment.nach dorsal und cranial, deutlich. Callusbildung, Fragmente ossär überbrückt
Fall 12 E.,H. 28 J w.	Autounfall, Rush pin Nagelung, nach 3 Monaten Nagel entfernt	4 Monate	Rush pin Fixation	schmerzhafte Beweglichkeit der Schulter	Schulterverkürzung, Druckschmerz, Auftreibung der Clavicula im mittleren Drittel, keine Funktionseinschränkung	ältere Claviculafraktur im mittleren Drittel
Fall 13 B.,H. 19 J m.	Sturz auf die Schulter	6 Monate	Rucksackverband 6 Wochen, nach 3 Monaten wegen Pseudarthrose AO Platte	seit 4 Wochen steht Platte hervor	Schulterhochstand, keine Bewegungseinschränkung	Lockerung d. acromialen Schrauben. Zeichen für Knochendurchbau vorhanden

Patient	Operation	postop. Röntgenbefund	postop. Verlauf	Nachkontrolle/oder Plattenentfernung	
Fall 7 E.,U. 46 J w.	5 Loch AO Drittelrohr-platte, Entfernung eines losen Fragmentes	gute Adaptierung	Wundheilung p.p.	nach 2 Monaten freie Beweglichkeit und Belastbarkeit, Clavicula druckempfindlich,Rö:Platte gelokkert-Plattenentfernung	
Fall 8 F.,W. 27 J m.	Treppenförmige Resektion am sternalen Fragment 6 Loch AO Drittelrohr-platte, Anlegen einer Zugschraube	gute Adaptation	Wundheilung p.p. 12.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 9 K.,G-H. 50 J m.	6 Loch AO Drittelrohr-platte	gute Stellung der Fragmente, leicht klaffender Frakturspalt	Wundheilung p.p. 7.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 10 Sch.,B. 39 J w.	5 Loch AO Halbrohrplatte Fragment wurde eingepasst	regelrechte Stellung der Clavicula, gute Adaptation	Wundheilung p.p. Sensibilitätsstörungen nicht mehr vorhanden	nach 4 Monaten Nachkontrolle u.Plattenentfernung freie Beweglichkeit, keine neurologischen Ausfälle	
Fall 11 J.,U. 27 J m.	Abtragen des Pseudarthrosegewebes 5 Loch AO Drittelrohr-platte	achsengerechte Stellung	Wundheilung p.p. am 10.Tag Desault entfernt und Entlassung	———	
Fall 12 E.,H. 28 J w.	Lösung d. Pseudarthrose Abtragung d. Callus luxur. Anbohrung der Ps.- Deckel 6 Loch AO Drittelrohr-platte	gute Adaptierung und Stellung	Wundheilung p.p. Nachblutung 7.p.op.Tag Entleerung eines subkutanen Hämatoms 11.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 13 B.,H. 19 J m.	Plattenentfernung Clavicula ist stabil	———	Wundheilung p.p. 4.p.op.Tag Entlassung	———	

Mediale Claviculafraktur mit Dislocatio ad latus cum contractione (Fall Nr.3)



Zustand nach operativer Versorgung mit einer 6 Loch AO Drittelrohrplatte

auch nicht wesentlich disloziert.

Die postoperativen Röntgenaufnahmen zeigten ausnahmslos eine gute Fragmentadaptation in achsengerechter Stellung. Postoperative Komplikationen waren im Fall Nr.12 ein subkutanes Hämatom, das sich aber nicht infizierte und gut entleert werden konnte; im Fall Nr.3 eine Wunddehiscenz, die sekundär abheilte. Soweit die AO-Platten an der Klinik entfernt wurden, ergab sich bei den Kontrolluntersuchungen eine freie Schulterbeweglichkeit. In einem der Fälle (Fall Nr.6) hatten sich die acromialen Schrauben gelockert und ein Callustumor ausgebildet; die Fraktur war jedoch fest und eine Achsenabweichung nicht eingetreten.

Im allgemeinen wurde der postoperative Desault-Verband für 14 Tage belassen. Anschließend begann der Patient mit krankengymnastischen Bewegungsübungen. 6 Wochen lang durfte der Arm nur ohne Belastung bewegt werden. Eine Plattenentfernung wurde dem Patienten nach ca. 3 Monaten empfohlen.

A c r o m i o c l a v i c u l a r e L u x a t i o n. Die ACL. Luxation und ihre Therapie werden schon in ältesten medizinischen Werken beschrieben. Doch es erscheinen auch heute noch zahlreiche Veröffentlichungen über ihre Problematik und Behandlung. Die Besonderheit der ACL.Luxation liegt darin, daß es sich nicht nur um eine einfache Luxation mit Kapselriß handelt, sondern auch die starken Bänder reißen, die den scapuloclaviculären Zusammenhalt garantieren. Hinzu kommen das Armgewicht und konträr wirkender Muskelzug, die die Luxationsweite vergrößern und die Retention erschweren. Das sind die speziellen Probleme der ACL.Luxation. Sie spiegeln sich in der Vielzahl der Therapieverfahren wider. Während bei den Verrenkungen anderer Gelenke je nach den lokalen Verhältnissen die Reposition den schwierigsten Teil der Therapie darstellt, ist es bei der ACL. Luxation genau umgekehrt der Fall. Die Reposition ist, abgesehen von den seltenen subacromialen Formen, leicht, die Retention bis zur Verheilung der Bandapparate bereitet indessen große Schwierigkeiten. Das ACL.Gelenk besitzt nämlich keine knöchernen Protektoren, wird von keiner Muskelmanschette geschient, und es besteht eine große mechanische Unruhe bei den

kleinsten Armbewegungen. Zwar brauchen bei einer unbehandelten vollständigen Luxation keine dauernden funktionellen Beschwerden zu resultieren, doch falls welche zurückbleiben, setzen sie die Arbeitsfähigkeit besonders bei körperlich arbeitenden Menschen stark herab. Sie kann einen Handarbeiter zum Invaliden stempeln. Diese schwerwiegende Tatsache und die therapeutischen Schwierigkeiten werten die ACL.Luxation als eine ernsthafte Krankheit, der große Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Eine veraltete Luxation, das heißt eine Verrenkung, die über die normale Heilungsdauer von 6 Wochen bestehen bleibt, führt nach Abklingen der akuten Schmerzen neben der evtl. funktionellen Einschränkung der Schulterbeweglichkeit sehr oft zu einer schmerzhaften Arthrose des Schultergelenks. Verursacht wird sie durch den zerrissenen und verlagerten Discus, durch eingeschlagene Kapselanteile oder durch interponierte Muskulatur. Diese unerträglichen und chronischen Schmerzen können wiederum zur Kontraktur des Skapulohumeralgelenkes führen. Weiterhin treten nicht selten periarthritische Veränderungen auf. Es kommt also bei einer verschleppten Luxation, die durch Narbenzug meistens in eine Subluxationsstellung übergeht, zu einer erweiterten Funktionsbeeinträchtigung der Schulter, die nicht mehr mit einer Behandlung des Primärleidens beseitigt werden kann. Die Idealheilung der ACL.Luxation mit gutem anatomischen und funktionellem Ergebnis gelingt bei optimaler Adaptation der gelenkbildenden Knochen für die Dauer der Kapsel- und Bänderheilung bei gleichzeitiger Bewegungsfreiheit der benachbarten Gelenke.

Auch bei der Therapie der ACL.Luxation gibt es heute noch Meinungsverschiedenheiten, ob und wann konservativ oder operativ vorgegangen werden sollte. Ebenso wie bei der Claviculafraktur liegt die Schwierigkeit in der Retention des Repositionsergebnisses. Nur sind bei der kompletten Luxation die divergierenden Kräfte, die die Retention erschweren, noch größer. In der einen Richtung zieht durch den Riß des coracoclaviculären Bandes die Schwere des Armes das Schulterblatt abwärts, während die Clavicula unter dem Zug der Heber kopfwärts disloziert wird. Der Erhaltung der Reposition in idealer Stellung werden die konservativen Verbände im allgemeinen nicht gerecht.

Bei der konservativen Therapie werden zwei verschiedene Behandlungsprinzipien unterschieden, die Adduktions- und Abduktionsverbände. Die erste Art ist heute total verlassen worden, weil

sie zu den bekannten Folgen der Kapselschrumpfung, Atrophie des Deltoideus führen und damit eine irreversible Immobilisation bedingen. Man verwendet nur noch Abduktionsverbände. Die Immobilisationsschäden sind weitaus geringer. Prinzipiell werden bei diesen konservativen Methoden das distale Claviculaende nach unten gedrückt, der Arm mit dem Acromion gehoben, nach hinten gezogen und außen rotiert. Als konservative Therapiemaßnahmen bei der ACL.Luxation empfehlen sich die Böhlerschiene oder ein Abduktionsgipsverband nach Nelaton Berchini. Andere Verbände, wie zum Beispiel der Rucksackverband, können die starken divergierenden Kräfte nicht so gut ausgleichen. In den letzten Jahren setzt sich immer mehr die Ansicht durch, daß konservative Maßnahmen vorzüglich zur Therapie der Subluxation geeignet sind, bei der nur die Kapsel und die acromioclaviculären Bänder gerissen sind. Unter konservativer Therapie weist die totale ACL.Luxation eine hohe Beschwerderate von 40 bis 50 % auf (Lemperle). Dabei wurde öfter eine dauernde Erwerbsunfähigkeit von 20 bis 40 % beobachtet (Kennedy). An Beschwerden zeigen die Patienten neben Schmerzen und Unsicherheit bei Bewegungen in der Schulter eine verminderte Funktion des Schultergelenkes. Wegen dieser hohen Komplikationsrate sollte die konservative Therapie der ACL.Luxation nur noch bei älteren Patienten, bei denen das anaesthesiologische Risiko für eine Operation zu hoch ist, Anwendung finden. Die operative Therapie ist die Methode der Wahl bei der totalen Schultereckgelenkverrenkung. Sie hat schon eine längere Entwicklung durchgemacht - der erste operative Eingriff wurde von Cooper 1861 ausgeführt - und es gibt heute zahlreiche Operationsverfahren, die nun nicht alle als funktionsgerechte Eingriffe am Schultergelenk anzusehen sind. Die Operationen kann man dem Benandlungsprinzip nach in Gruppen unterteilen : 1. die direkte Fixation des ACL.Gelenkes, 2. die indirekte Fixation, 3. kombinierte Maßnahmen, 4. Resektionsmethoden, 5. Arthrodese.

Die direkten Fixationsmethoden greifen am ACL.Gelenk an und können intra- oder extraarticulär liegen. Bei den direkten intraarticulären Methoden wird entweder ein Kirschnerdraht nach blutiger oder unblutiger Reposition in der Längsachse der Clavicula durch das ACL.Gelenk gebohrt (Bier,Lauber). Stattdessen kann auch ein Nagel (Narath), ein Rush pin oder eine Spongiosaschraube verwendet werden. Kritisch ist zu die-

sen Methoden folgendes zu bemerken. Die Verfahren mit Kirschnerdrähten sind nicht stabil genug, um der mechanischen Belastung standzuhalten. Weiternin verletzen alle diese Methoden die Gelenkflächen. Die Folge solcher Eingriffe bedeutet nach gelenkchirurgischen Erfahrungen eine Teilverödung des Gelenkes, und ein teilverödetes Gelenk peinigt den Patienten stets, da es im Gegensatz zum arthrodetischen Gelenk neben der Funktionseinbuße ständige Schmerzen verursacht. Bei den direkten extraarticulären Fixationsmethoden wird nach blutiger Reposition das Gelenk durch eine extraarticuläre Drahtnaht (Schloffer, Felsenreich), Seidennaht (Bürkle de la Camp), Fascienstreifen (Riedel, Fürst) in anatomischer Stellung gehalten. Diese Methoden leiden alle an einer relativ großen Instabilität; häufig reißen auch die Befestigungsmaterialien. Weiterhin kann ein zu starkes Anziehen der Fixationsschlingen den Gelenkdruck so stark erhöhen, daß Knorpelschädigungen eintreten, zumal der Discus meist entfernt wurde.

Die indirekten Operationsmethoden lassen das lädierte ACL.Gelenk unberührt und haben die gemeinsame Grundidee, die Funktion des coracoclaviculären Bandes zu ersetzen bzw. wiederherzustellen. Die Vorteile der indirekten Verfahren liegen klar auf der Hand. Das ACL.Gelenk wird keinen weiteren traumatischen Läsionen ausgesetzt. Das Fixationsmaterial wird nicht so stark beansprucht wie am ACL.Gelenk, da es an einem 1/4 kürzeren Hebel befestigt wird und infolgedessen um 1/4 weniger auf Zug beansprucht wird. Zu diesen Verfahren gehört die Methode nach Dunlop, bei der nach blutiger Reposition das gerissene Band rekonstruiert wird. Nach Duncker wird ein breiter Fascienlappen - Marschner benutzt einen Kutisstreifen - um Coracoid und Clavicula geschlungen. Vegas spaltet einen Sehnenstreifen vom Muskulus coracobrachialis ab und zieht ihn durch ein Bohrloch in der Clavicula. Bei der Operation nach Bosworth erfolgt die coracoclaviculäre Fixation durch eine Schraube. Kennedy hat diese Methode erweitert durch eine zusätzliche Arthrotomie. Diese Methode unterbindet temporär durch eine fixierte coracoclaviculäre Verbindung die Längsrotation des Schlüsselbeines und die Rotation des ACL.Gelenkes und schränkt somit die Abduktion bzw. Elevation ein.

Eine kombinierte Methode ist die Fascienplastik nach Bunell, wobei eine Fascienrolle durch drei Bohrlöcher über das ACL. Gelenk, um das Coracoid und die Clavicula geschlungen wird.

Nach Henry wird ein Fascienstreifen um Coracoid und Clavicula gezogen und das ACL.Gelenk mit einer Drahtnaht fixiert. Witt zieht eine Fascienrolle durch zwei Bohrlöcher im Acromion und gelenknahem Abschnitt der Clavicula, vernäht sie mit sich selbst und schlägt das freie Ende breitflächig um das Gelenk und vernäht es. Diese Plastik wird temporär durch einen intraarticulären Kirschnerdraht stabilisiert.

Wenn schon die ACL.Luxation operiert wird, sollte das Acromioclaviculargelenk immer genau inspiziert werden und gegebenenfalls der zerfetzte Discus oder interponiertes Gewebe entfernt werden. Weiterhin müssen die abgerissenen Muskelansätze von Trapezius und Deltoideus rekonstruiert und durch Naht an ihrer Insertionsstelle befestigt werden, da sonst später funktionelle Beschwerden resultieren können (Horn).

Bei veralteten Luxationen des ACL.Gelenkes empfehlen einige Autoren die laterale Resektion des Schlüsselbeines. Eine andere Methode ist die Arthrodese, wenn eine ausgeprägte Arthrosisdeformans, die sehr schmerzhaft ist und dadurch darüberhinaus die Funktion schon rein reflektorisch einschränkt, vorliegt. Sie beseitigt die Schmerzen und verbessert die Funktion. Zur Arthrodese wird das ACL.Gelenk reseziert, Clavicula und Acromion mit einem Kirschnerdraht stabilisiert und in die Knochenlücke ein Spongiosablock eingebolzt. Natürlich resultiert daraus eine Funktionseinschränkung, sie ist aber geringer als die reflektorische bei der Arthrose. Neben den hier aufgezählten Operationsverfahren gibt es noch zahlreiche andere. Insgesamt werden in der Literatur über 40 Methoden angegeben. Die Grundkonzeptionen sind jedoch sehr ähnlich und entsprechen den aufgezählten.

Mit den neueren Erkenntnissen über die Physiologie des Schultergelenkes haben sich die Operationstechniken gewandelt und die Erfolge sind besser geworden. Ungefähr 90 % der Operierten erlangen eine vollständige Funktion ihres Schultergürtels auch unter schweren Belastungen wieder. Die Bewertung der einzelnen Operationsverfahren muß nach physiologischen Gesichtspunkten erfolgen. Die indirekten Operationen kommen einem einwandfreien funktionellen und anatomischen Ergebnis am nähesten; außerdem greifen sie rein mechanisch an einem günstigeren Ort an, und die Materialbelastung ist geringer. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigen die kombinierten Operationsverfahren nach Steindler, Bunnell und Witt. Die direkten extraarticulären Methoden zeichnen sich durch Instabilität mit nachfolgender Sub- oder

Reluxation aus. Die direkten intraarticulären Maßnahmen können zu Spätarthrosen führen, außerdem hemmen sie die Beweglichkeit des ACL.Gelenkes in mindestens 2, wenn nicht sogar in allen 3 Ebenen. Das Ziel aller guten Operationsverfahren sollte es sein, eine anatomisch exakte Retention zu erreichen, eine möglichst maximale Festigkeit bei guter Beweglichkeit zu erhalten, um eine frühzeitige Bewegungstherapie einleiten zu können. Andernfalls würden die operativen Eingriffe gegenüber der konservativen Therapie keinen allzu großen Gewinn bringen.

Subluxationen des ACL.Gelenkes werden im allgemeinen konservativ mit Verbänden behandelt. Doch wird man bei Arbeitern und Sportlern auch hier strengere Maßstäbe anlegen müssen und die Reposition mit einem Kirschnerdraht kurzfristig fixieren. Um ein Abweichen der Clavicula nach oben zu verhindern, kann man noch einen Weichteilperiostlappen über dem Gelenk vernähen. Bei sehr starker Läsion des superioren acromioclaviculären Bandes verbindet man eine vom Acromion abgeschlagene Periostknochenlamelle über dem ACL.Gelenk mit dem Schlüsselbeinperiost.

Die sternoclaviculären Luxationen. Sie bieten ähnliche therapeutische Schwierigkeiten und Probleme wie die Verrenkungen im ACL.Gelenk. Die Reposition ist ebenfalls nicht schwierig, während eine konservative Retention sehr fraglich erscheint, da keine Verbandstechnik eine gute Fixation gewährleistet. Häufig gleitet die Clavicula unter konservativer Retention in Subluxationsstellung zurück. Bei narbiger Verheilung in dieser Position wird die Schultergürtelfunktion beeinträchtigt, und es entwickelt sich in absehbarer Zeit eine Spätarthrose. Eine mit gutem Erfolg angewandte Operationsmethode ist die Fascienumschlingung nach Bunnell. Durch zwei Bohrlöcher im Manubrium und sternalen Köpfchen der Clavicula wird ein Fascienstreifen geschlungen. Er wird zusätzlich noch einmal um die Clavicula und erste Rippe als Ersatz des gerissenen Ligamentum costoclaviculare geführt. Vorher muß das Sternoclaviculargelenk freigelegt und inspiziert werden. Ein lädierter Discus articularis ist zu entfernen. Evtl. kann die Kapsel bei nicht zu starker Zerfetzung noch mit Nähten gerafft werden. Bei der vollständigen Luxation ist die Operationsmethode nach Steindler, das heißt die alleinige Umschlingung vom

sternalen und claviculären Gelenkanteil mit einem Fascienstreifen, nicht stabil genug, weil durch das zerrissene costoclaviculäre Band die Clavicula nach oben abzuweichen droht. Veraltete Luxationen oder Subluxationen mit degenerativer Arthrose oder anderen traumatischen Läsionen des Schlüsselbeinköpfchens sollten mit der Methode nach Witt angegangen werden; hierbei wird das Schlüsselbeinköpfchen teilreseziert, neu geformt und im Sinne einer Arthroplastik ein Fascientransplantat eingelegt, anschließend wird das Operationsverfahren nach Bunnell ausgeführt. Als ultima ratio bei schmerzhaften Spätarthrosen bleibt nur noch die Arthrodese. Ein Knochenspan der Clavicula wird in die Markhöhle des Manubrium eingebohrt und am Schlüsselbein mit einem Draht fixiert. Es resultiert zwar eine große Funktionseinbuße im Schultergelenk, die aber geringer ist als die primär schmerzhaft reflektorische. Bei den Subluxationen im Sternoclaviculargelenk, das heißt bei erhaltener Funktion des costoclaviculären Bandes, erzielt man durch einfache Kapselraffnähte eine stabile Retention.

Kasuistik

In den Jahren 1969/70 wurden an der orthopädischen Abteilung des Städt.Rudolf-Virchow-Krankenhauses (Chefarzt Priv.-Doz. Dr.Hofmeister) 10 supraacromiale Acromioclavicular-Luxationen sowie eine sternoclaviculäre Sub- und Luxation operiert. Die ACL.Luxationen wurden bis auf eine transacromiale Rush pin Fixation mit einer Maatz'schen Federkopfschraube sowie zweimal mit einer Spongiosaschraube nach der Methode von Bosworth versorgt.

Operationsverfahren: Ein etwa 5 cm langer Hautschnitt wird vom lateralen Ende der Clavicula bis zum Acromion geführt. Nach Durchtrennung des Subkutangewebes wird die Gelenkkapsel des ACL.Gelenkes freipräpariert und eröffnet. Interponiertes Gewebe des Kapsel- und Bandapparates wird herauspräpariert, aber nicht entfernt; der Discus wird in toto exstirpiert. Anschließend erfolgt die Reposition der Clavicula. Nach Darstellung des Prozessus coracoideus und dem darüberliegenden Claviculaabschnitt und Anlegen von Bohrlöchern mit Gewindeausschneidung der Corticalis wird eine Maatz'sche Federkopfschraube durch die Clavicula in das Coracoid eingedreht. Bei guter Reposition und Retention wird die Gelenkkapsel vernäht,und ein schicht-

weiser Wundverschluß durchgeführt.

Auch die Patienten mit ACL.Luxation wurden erst nach einem Zeitraum von 14 Tagen bis 7 Wochen der operativen Behandlung zugeführt, obwohl die primäre operative Versorgung von ACL. Luxationen im allgemeinen anerkannter ist. Zwei Fälle wurden gar nicht als Luxation erkannt und wochenlang wie eine Schulterprellung behandelt. Bei den übrigen Patienten gingen erfolglose konservative Maßnahmen mit Rucksack-, Desault- und Heftpflasterverband voraus. Die Patienten klagten über Bewegungsschmerzen in der Schulter, Schwäche und Funktionseinschränkung bei der Elevation des Armes. Besonders die körperlich arbeitenden Patienten gaben an, daß sie ihren Arm nicht mehr voll gebrauchen könnten (Fall Nr.2, Nr.3, Nr.5, Nr.8). Eine mehr oder weniger schmerzhafte Beweglichkeit im Schultergelenk zeigten alle Patienten bei der klinischen Untersuchung. Eine deutliche Reduktion in der Armhebung ließ sich bei 5 Patienten nachweisen (Fall Nr.2, Nr.4, Nr.8, Nr.9, Nr.10). Bei allen Patienten war die ACL.Luxation klinisch durch Stufenbildung, Klaviertastenphänomen, Dislokation der Clavicula und Schulterverkürzung nachweisbar.

Fall Nr.8 wurde mit einer transacromialen Rush pin Fixierung, Fall Nr.1 und Fall Nr.5 mit einer Spongiosa- statt Maatz'schen Federkopfschraube behandelt. Eine optimale Reposition gelang in 4 Fällen, in weiteren 5 Fällen war eine anatomiegerechte Gelenkadaptation annähernd erreicht. Bei einem Patienten (Fall Nr.10) konnte die Stufenbildung nicht beseitigt werden. Postoperative Komplikationen traten nicht auf.

Der Desault-Verband wurde 1 bis 3 Wochen zur Ruhigstellung belassen, anschließend wurde der Arm noch 1 bis 3 Wochen im Tragetuch gehalten, aber schon mit krankengymnastischen Übungen begonnen. Die Schraube sollte nach etwa 3 Monaten entfernt werden, damit möglichst frühzeitig der Clavicula wieder eine Längsrotation ermöglicht wird, und die Skapula im ACL.Gelenk rotieren kann. Diese Methode hemmt die Elevation des Armes um 30 bis 40 °. Außerdem treten dauernde Scherkräfte bei der Armhebung auf, sodaß sich die Schraube leicht lockern kann.

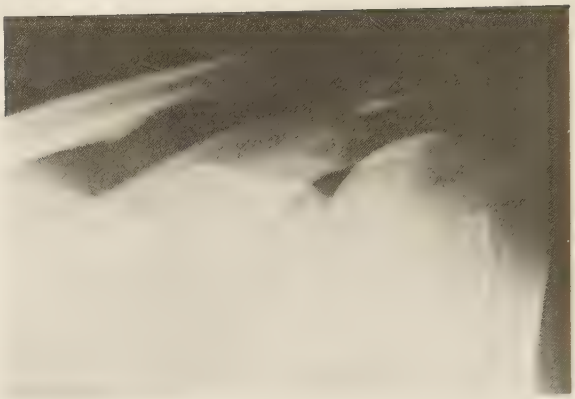
Die sternoclaviculäre Subluxation trat bei einem 12-jährigen Jungen (Fall Nr.12) ein, der sich im Fallen noch mit einer Hand festhalten konnte. Dabei muß es zu einer plötzlichen Distraktion der sternoclaviculären Gelenkanteile gekommen sein,

Patient	Unfallhergang	Zeit bis zur oper. Therapie	Behandlung vorher	Beschwerden z.Zt. d.Aufnahme	Klinischer Befund	Röntgen-Befund
Fall 1 D.,H-J. 26 J m.	Aus einem Gokart geschleudert, Sturz auf die rechte Schulter	4 Wochen	Desault-Verband (3Wochen) und Bestrahlungen	Schulterschmerzen bei Bewegung des Armes	Stufenbildung mit cranial luxierter Clavicula, Klaviertastenphänomen positiv, freie Beweglichkeit im Schultergürtel	Supraacromiale Luxation
Fall 2 S.,D. 30 J m.	Beim Fußballspielen auf die rechte Schulter gestürzt	14 Tage	10 Tage Desault-Verband	Schmerzen bei Lage auf d.rechten Schulter und Bewegung d.Armes, Kraftlosigkeit im Oberarm	rechte Schulter verkürzt, Stufenbildung, lokaler Druckschmerz, Schmerzen bei Elevation d.Armes und Heben und Senken d.Schulter, Abd.und Antevers.endgr.eingeschränkt	Supraacromiale Luxation
Fall 3 M.,H. 28 J m.	Bei Glatteis ausgerutscht, auf die rechte Schulter gestürzt	Wochen	Wurde als Schulterprellung behandelt	n.6 Wochen Arbeit als Maler, Beschwerden b.Heben d.Armes, Schwäche i.d.Schulter und im Oberarm	Stufenbildung, Klaviertastenphänomen positiv, Retroversion endgradig eingeschränkt, sonst freie Beweglichkeit	Supraacromiale Luxation
Fall 4 B.,A. 34 J w.	Autounfall, Pat. schlug mit der rechten Schulter gegen den Fensterholm	3 Monate	3 Wochen Rucksackverband	Schweregefühl i. rechten Arm bei längerem Arbeiten, besonders das Tragen fiel schwer	Stufenbildung, Klaviertastenphänomen positiv, re.Schultertiefstand, volle Beweglichkeit	Supraacromiale Luxation
Fall 5 St.,W. 32 J m.	Sturz im Treppenhaus mit Fall auf die rechte Schulter	7 Wochen	1 Woche Desaultverband, Patient lehnte anfangs Operation ab	Pat.i.Schwerarbeiter,Schmerzen i.d.r.Schultergegend,re.Arm ist schwach,kann ihn n.voll gebrauchen	Stufenbildung, Druckschmerz im Bereich d.Acromio Clavicular gelenkes, Bewegungen endgradig schmerzhaft, Abduk. 155 °, Antevers. 165 °, sonst frei	Supraacromiale Luxation
Fall 6 St.,Wo. 33 J m.	Skiunfall mit Sturz auf die linke Schulter	2 Monate	2 Wochen lang Heftpflasterverband	Schmerzen b.Heben u.Tragen i.d.linken Schulter, Schwäche im linken Arm	Stufenbildung, Kontur abgeflacht, freie Beweglichkeit, grobe Kraft des Muskulus Deltoideus reduziert	Supraacromiale Luxation

Patient	Operation	postop. Röntgenbefund	postop. Verlauf	Nachkontrolle/oder Plattenentfernung	
Fall 1 D.,H-J. 26 J m.	Gelenkrevision AO Spongiosaschraube Methode nach Bosworth	gutes Repositionsergebnis	Wundheilung p.p. 12.p.op.Tag Entlassung Desault-Verband noch 14 Tage nach Entlassung	———	
Fall 2 S.,E. 30 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube Methode nach Bosworth	noch geringe Stufenbildung um 1/2 Claviculabreite	Wundheilung p.p., wegen Achselekzem Desault nach 10 Tagen ab 16.p.op.Tag Entlassung, weitere Ruhigstellung im Tragetuch 4 Wochen	———	
Fall 3 M.,E. 28 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube Naht des Acromioclavicular-bandes	Gelenkteile gut adaptiert	Wundheilung p.p. 12.p.op.Tag Entlassung Desault noch weitere 14 Tage	———	
Fall 4 B.,A. 34 J w.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube	Gelenkspalt noch weit, Stufe aber ausgeglichen	Wundheilung p.p. 4.p.op.Tag Armtuch 10.p.op.Tag Entlassung	n.10 Monaten Schraubenent-fernung, Schultergelenk schmerzlos und freie Beweglichkeit	
Fall 5 St.,W. 32 J m.	Gelenkrevision AO Spongiosaschraube	Gelenkspalt beträgt noch 1 cm	Wundheilung p.p. 10.p.op.Tag Entlassung noch 1 Woche Desault, dann Tragetuch und KG	n.1 1/2 Jahren plötzl.b.Heben eines Kindes Schmerzen i.d.r.Schulter,Klinik:Abd. 90°,Antevers.150°, Rö: Schraubenkopf i.Corpus d. Clavicula m.Aufhellungszone Schraubenentfernung	
Fall 6 St.,Wo. 33 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube	Stufenbildung annähernd aufgehoben	Wundheilung p.p. 12.p.op.Tag Entlassung im Desault,noch weitere 7 Tage dann Tragetuch und KG		

Patient	Unfallhergang	Zeit bis zur oper. Therapie	Behandlung vorher	Beschwerden z.Zt. d. Aufnahme	Klinischer Befund	Röntgen-Befund
Fall 7 B.,P. 32 J m.	Keine Angaben vorhanden	dito	dito	dito	dito	Stufenbildung und Diastase im rechten ACL-Gelenk
Fall 8 S.,H. 26 J m.	Patient stolperte und fiel auf den rechten Ellenbogen	2 Monate	4 Wochen lang Rucksackverband, dann als Stanzer gearbeitet	Schmerzen in der rechten Schulter, Patient konnte nichts mehr heben	Acromiale Ende der Clavicula 2 cm über d. Acromion, Schulter- und Nackenmuskulatur verspannt. Abduktion und Anteversion nur bis 150 ° möglich	Supraacromiale Luxation
Fall 9 M.,W. 35 J m.	Sturz mit dem Fahrrad, Fall auf die linke Schulter	1 Monat	Als Schulterprellung behandelt	Schulterschmerzen beim Bewegen des Armes über die Horizontale	Stufenbildung, Klaviertastenphänomen positiv, Elevation schmerzhaft und endgradig eingeschränkt	Supraacromiale Luxation
Fall 10 K.,O. 64 J m.	Aufschlagender Türriegel traf linkes Schulterblatt	3 Wochen	Antirheumatische Therapie	Schmerzen beim Anheben des Armes über die Horizontale	Stufenbildung, Druckschmerz d.Acromio Clavicular-gelenkes u.d.Prozessus Coracoideus, Abduktion ab 100 °, Elevation ab 110 ° eingeschränkt	Supraacromiale Luxation mit Absplitterung eines Knochenfragmentes aus dem lateralen Claviculaende
Fall 11 P.,A. 58 J w.	Sturz auf den Bettrand mit ausgeprägtem Bluterguss der linken oberen Thoraxhalfte	3 Monate	———	Ständig Schmerzen i.li.Halsbereich, Schulterpartie, Nacken u.Oberarm, b.Beweg.d.Armes Schmerzverstärkung	Kolbenartige Verdickung d. sternalen Claviculaendes, es steht 1 cm am Gelenk vorgewölbt. Schmerzen beim Heben u. Außenrotation des Armes	Praesternale Luxation
Fall 12 K.,G. 12 J m.	Beim Fall v.Stagenbett konnte sich d.Patient mit d.rechten Hand noch festhalten	3 Wochen	———	Schmerzen beim Herabhängen und Elevation d.rechten Armes über Schulterhöhe	Stufenbildung am rechten St. Clavicular-gelenk. Vorspringende Clavicula um 1 cm nicht reponierbar, bei Elevation d. Armes starke Schmerzen	Praesternale Luxation

Patient	Operation	postop. Röntgenbefund	postop. Verlauf	Nachkontrolle/oder Plattenentfernung	
Fall 7 B.,P. 32 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube	postoperative caudale Stufenbildung	Wundheilung p.p. 7.p.op.Tag Desault ab, Tragetuch, KG, 10.p.op.Tag Entlassung Tragetuch weitere 8 Tage	———	
Fall 8 S.,H. 28 J m.	Gelenkrevision transacromiale Rush pin Fixation	keine erkennbare Stufenbildung	Wundheilung p.p. 10.p.op.Tag Entlassung mit Desault-Verband, nach weiteren 14 Tagen Desault ab und KG	Nach 1 Jahr Rush pin Entfernung, freie Beweglichkeit des Schultergelenkes	
Fall 9 M.,W. 35 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube	regelrechte Gelenkstellung	Wundheilung p.p. 8.p.op.Tag Desault ab, 10.p.op.Tag Entlassung	———	
Fall 10 R.,O. 64 J m.	Gelenkrevision Maatz'sche Federkopf-schraube	weiterhin Stufenbildung des ACL-Gelenkes	Wundheilung p.p. 13.p.op.Tag Entlassung	n.8 Monaten Schraubenentfernung, Pat.hatte Schmerzen b.Bewegung, Abdukt.90°, Antevers. 120°, Muskelatrophie d.Oberarmes mit Schwäche,Rö:Schraube i.gelockert	
Fall 11 P.,A. 58 J w.	Discusentfernung	———	Wundheilung p.p. Luxation besteht weiterhin 7.p.op.Tag Desault ab, Entlassung, annähernd beschwerdefrei	———	
Fall 12 K.,G. 12 J m.	Entfernung des Discus, Reposition, Kapselnaht mit teilweiser ventraler Verdoppelung	———	Wundheilung p.p. 10.p.op.Tag Entlassung, Desault soll noch 4 Tage getragen werden	———	



Supraacromiale Acromioclavicular-
luxation (Fall Nr.9)

Zustand nach Versorgung der Luxation
mit einer Maatz'schen Federkopfschraube

und durch einen gleichzeitigen Dorsalzug der Schulter wurde das sternale Claviculaköpfchen über die erste Rippe gehebelt. Operativ wurde der Diskus entfernt, eine Reposition vorgenommen und die Gelenkkapsel im ventralen Abschnitt gedoppelt vernäht. Nach dreiwöchiger Fixierung im Desault und anschließender Krankengymnastik war der Patient beschwerdefrei. Die Luxation im Sternoclaviculargelenk erlitt eine ältere Patientin (Fall Nr.11) nach einem direkten Trauma der oberen Thoraxhälfte. Da die Luxation erst nach 3 Monaten zur Behandlung kam,und eine operative Reposition zu schwierig gewesen wäre, wurde nur der Diskus entfernt. Die Patientin konnte mit geringeren Beschwerden entlassen werden.

DISKUSSION

Im abschließenden Kapitel sollen die Schlüsselbeinverletzungen noch einmal unter den modernen Gesichtspunkten der funktionellen Anatomie im Schultergürtel diskutiert werden,und es soll ihre notwendige Therapie mit der Schultergelenkmechanik in Einklang gebracht werden. In diesem Abschnitt wird ganz bewußt die Bedeutung der Clavicula hinsichtlich der Gelenk- und Muskelmechanik betont, um der Meinung entgegenzutreten, die Clavicula sei ein "surplus bone". Diese Auffassung wird zwar bei der Fragestellung der Clavicularesektion, wobei oft eine vitale Indikation dahinter steht, vertreten, sie erscheint aber etwas zu oberflächlich und verführt, die Therapie bei den üblichen Claviculaverletzungen zu vernachlässigen. Auch das Problem konservativer oder chirurgischer Therapie soll hier noch einmal unter den oben genannten Aspekten gestreift werden.

Die vergleichende Anatomie zeigt uns, daß nur die Säugetiere eine voll ausgebildete Clavicula besitzen, die mit ihrer oberen Extremität eine höhere ergomotorische Leistung vollbringen (unter anderem das Känguruh, das Eichhörnchen, der Maulwurf und andere Gräber, die Primaten und der Mensch). Für eine rein lokomotorische Leistung der oberen Extremität ist ein Schlüsselbein unter den Säugetieren nicht nötig. Mit der Entwicklung der oberen Extremität zu einem Greiforgan wird seine Architektur und Aufgabe modifiziert. Es verlor die Funktion,

sowohl ein verschieben der Skapula nach dorsal bei den Tieren, deren Extremitätenlängsachse horizontal verläuft, als auch ihr Abgleiten nach ventral wie bei den Vögeln zu verhindern. In der Entwicklungsreihe erfährt die Clavicula eine neue Spezialisierung. In dem sehr dynamischen Komplex der oberen Extremität als Greiforgan wirkt das Schlüsselbein nicht mehr als reines Stützsegment für den Schultergürtel, sondern leistet eine zusätzliche Funktion. Es ermöglicht der oberen Extremität, Arbeitsvorgänge ventral von der vorderen Rumpfwand exakt auszuführen. Die Clavicula wirkt nämlich der Zugrichtung der Adduktoren, Innenrotatoren und Flexoren, die den Arm in die Ventralebene führen, entgegen. Ohne ihre indirekt dynamische Funktion würde die Skapula nach ventromedial und mit ihr das Skapulohumeralgelenk gleiten. Weiterhin gewährt diese Fixation der oben genannten Muskulatur eine hohe Kraftentfaltung. Diese Tatsache wird dadurch bewiesen, daß bekanntermaßen die Arbeitsleistung von Adduktoren, Innenrotatoren und Flexoren größer ist als die der Abduktoren, Außenrotatoren und Extensoren. Die Konstruktion des Schlüsselbeines im Schulterkomplex ermöglicht also durch ihren antagonistischen Gegendruck eine maximale und zielgenaue Leistungsfähigkeit der oberen Extremität bei Bewegungen vor dem Rumpf, die bei der Arbeit und beim Sport eine wichtige Rolle spielen. So sind auch Menschen mit einer Dysostosis cleidocranialis nicht imstande, zielgerichtete Bewegungen mit einem größeren Kraftaufwand vor dem Rumpf auszuführen. Aus den oben erwähnten Gründen braucht die obere Extremität das Schlüsselbein für spezialisierte Leistungen. Sie werden durch die Entwicklungsgeschichte und Klinik bewiesen. Die synergistische und kräfteverstärkende Wirkung für bestimmte Teile der Oberarmmuskulatur ist die primäre funktionelle Kausalität der Clavicula. Diese ursprüngliche und wichtige Bedeutung der Clavicula für die obere Extremität sollte am Anfang dieses Kapitels klar herausgestellt werden, um der Meinung entgegenzutreten, daß sie funktionell ein unnützes Glied im Schultergürtel sei. Man sollte bedenken, daß Claviculafrakturen, die mit einer starken Verkürzung in der Längsachse heilen, neben anderen funktionellen Störungen, auf die später eingegangen wird, die Kraftentfaltung der adduktorischen, flexorischen und innenrotatorischen Muskulatur vermindern.

Die Claviculafrakturen besitzen aufgrund des besonderen Aufbaus des Schlüsselbeines im Gegensatz zu Frakturen an anderen

Röhrenknochen eine sehr gute Heilungstendenz. Sie heilen meist stabil aus, obwohl die Reposition und Retention unter der konservativen Therapie nicht ideal waren; Pseudarthrosen sind relativ selten. Doch resultiert oft eine in Fehlstellung ausgeheilte Fraktur. Diese deformierten Schlüsselbeine beeinträchtigen bei exakter Untersuchung die Schulterbeweglichkeit häufiger als erwartet, besonders wenn die Fehlstellung die Claviculakonstruktion in charakteristischer Weise verändert. Wie schon beschrieben, spielt der Kurbelwellenmechanismus des Schlüsselbeines bei der Armhebung eine wichtige Rolle. Ein Versagen dieses Vorgangs schränkt die Skapularotation um 50 % ihrer Gesamtrotation ein. Die Clavicula kann diese Funktion nur durch ihre Kurvaturen, speziell ihre laterale, ausführen. Frakturen im lateralen Abschnitt des Schlüsselbeines, die mit einem Verlust der Kurvatur ausheilen, schränken die Schulterbeweglichkeit ein. Die Abnahme der Elevationsfähigkeit ist dem Krümmungsverlust der lateralen Kurvatur direkt proportional. Eine totale Beseitigung der Schwingung begrenzt die Skapularotation auf 30^{o}; praktisch können derart Geschädigte den Arm kaum über 120^{o} elevieren. Diese Restriktion der Beweglichkeit bedeutet für viele berufliche Tätigkeiten und Sportarten einen schweren Verlust und unterstreicht die Bedeutung eines integren Kurbelwellenmechanismus für eine freie Schulterbeweglichkeit.

Aber nicht nur mit Dislokation geheilte Frakturen im lateralen Abschnitt der Clavicula können die wichtige Verlängerung des coracoclaviculären Bandes aufheben, sondern auch Fehlstellungen im mittleren und sternalen Anteil bei erhaltener lateraler Kurvatur. Eine Achsenknickung des Schlüsselbeines nach ventral im medialen und sternalen Segment nähert den Krümmungsradius der lateralen Schwingung der Längsrotationsachse, sodaß sich der Kurbelwelleneffekt in Abhängigkeit vom ventralen Dislokationsgrad verringert. Die Schulterbeweglichkeit wird ebenfalls bei einer mit Achsenabweichung nach unten verheilten Schlüsselbeinfraktur reduziert. Die Elevation der Clavicula hebt nicht nur den Schultergürtel, sondern ihre Einpunktfixation mit der radialen Bewegung läßt gleichzeitig das Schulterblatt rotieren. Jede Achsenknickung der Clavicula nach caudal verringert also nicht nur die Elevationsfähigkeit der Schulter, sondern auch die des Armes, indem nämlich bei absoluter Verminderung der Schlüsselbeinhebung, das heißt bezogen auf die Körperachse, gleichzeitig die damit verbundene absolute Ska-

pularotation abnimmt. Die relativen Bewegungsausmaße sind gleichgeblieben. Eine Kompensation wird durch das costoclaviculäre Band verhindert. Wenn diese caudale Achsenknickung in dem Abschnitt zwischen Coracoid und Acromioclaviculargelenk eintritt, werden sowohl die Elevation der Clavicula und Rotation der Skapula in Bezug auf die Körperachse abnehmen, als auch die maximale Rotation im ACL.Gelenk, das heißt ein normaler spinoclaviculärer Winkel wird bei der Elevation des Armes nicht mehr erreicht. Einen Ausgleich verhindert das coracoclaviculäre Band.

Eine Verkürzung des Schlüsselbeines in der Längsachse der Clavicula vermindert die Höhe ihrer maximalen Elevationsfähigkeit, und damit nimmt auch der sogenannte sternale Rotationsgrad des Schulterblattes ab. Darüberhinaus setzt eine verkürzte Clavicula die Kraft und bei Extremausmaßen auch die Größe der Skapularotation im ACL.Gelenk herab. Für die Skapularotation im ACL.Gelenk ist ein Kräftepaar verantwortlich. Der eine Teil greift am Angulus inferior und -medialis, der andere am Acromion an. Die rotierende Kraft, die vom Acromion her wirkt, resultiert aus dem Zug des oberen Trapeziusabschnittes und dem passiven antagonistischen Gegendruck der Clavicula.Eine verkürzte Clavicula läßt nun den Winkel der Zugrichtung des oberen Trapezius steiler werden. Das hat zur Folge, daß bei gleicher Verkürzung der Rotationsgrad im ACL.Gelenk abnimmt. Darüberhinaus verringert sich bei einer steileren Kontraktionsrichtung die passive Gegenkraft des Schlüsselbeines, sodaß die maximale Kraftentfaltung des Muskels sich nicht auswirken kann. Wie den acromialen oberen Trapeziusabschnitt so schwächt eine verkürzung des Schlüsselbeines auch die maximale Leistungsfähigkeit der Adduktoren, Flexoren und Innenrotatoren des Oberarmes aus den im Anfang des Kapitels erwähnten Gründen. Das Schlüsselbein ist auch ein federndes System, das Stöße der oberen Extremität auffangen soll. Diese Funktion wird durch die Tatsache unterstrichen, daß die Clavicula als einziger Knochen an beiden Gelenken Disci besitzt, die nicht nur Inkongruenzen ausgleichen, sondern auch Energie, die auf den Arm einwirkt, abpuffern sollen. Diese federnde Konstruktion disponiert zur erneuten Fraktur, wenn nicht eine anatomisch befriedigende Reposition gelingt.

In schlechter Stellung ausgeheilte Schlüsselbeinfrakturen schränken also neben einem schlechten kosmetischen Ergebnis

und erheblicher Druckschmerzhaftigkeit der Bruchstelle beim Lastentragen auch die Schulterbeweglichkeit ein. Die Störungen der Schulterfunktion sind abhängig von der Lokalisation der Bruchstelle und dem Grad der Dislokation. Am stärksten werden alle die Fehlstellungen das Bewegungsausmaß beeinträchtigen, die den Kurbelwellenmechanismus aufheben. Es sind also Dislokationen im Bereich der lateralen Kurvatur selbst, sowie stärkere ventrale Abweichungen, wodurch sich die Kurvatur der Rotationsachse nähert, und somit ihre Effektivität herabgesetzt wird. Die Funktion der Clavicula im Rahmen der Schulterbeweglichkeit erfordert eine exakte anatomische Stellung der Fragmente bei bestimmten Bruchlokalisationen. Größere Achsenabweichungen und Verkürzungen bei Frakturen in allen Abschnitten reduzieren und schwächen den komplizierten und synchronisierten Ablauf der Schulterbewegung. Nicht nur die Gelenke des Schultergürtels werden in ihrem Aktionsausmaß betroffen, sondern auch die Leistungsgröße der axiohumeralen und axioscapularen Muskulatur.

Die konservative Therapie mit ihrer schlechten Retentionsfähigkeit der Repositionsergebnisse erfüllt infolgedessen nicht immer die Bedingungen, um Dislokationen zu vermeiden, die evtl. Funktionsstörungen hervorrufen können. Gerade bei den lateralen Frakturen, die eine besonders exakte anatomiegerechte Stellung verlangen, ist die konservative Therapie besonders problematisch. Denn die Ansatzfläche des lateralen Fragmentes ist für den Verband zu schmal, um dieses sicher in nach hinten gezogener Position zu stabilisieren. Nur bei den lateralen Frakturen mit erhaltenem coracoclaviculärem Band an beiden Fragmenten erscheinen rein konservative Maßnahmen erfolgreich. Laterale Frakturen mit zerrissenem Band zeigen starke Fragmentverschiebungen, und die konservative Therapie gewährleistet aus dem oben beschriebenen Grund eine nur mäßige Retention. Darüberhinaus kommt es bei dieser Fraktur noch zu einer zusätzlichen Dislokatio ad axim, weil das laterale Ende noch rotieren kann, während das mediale Fragment von der Längsrotation ausgeschlossen ist. Eine Reposition auch in der Längsachse sollte möglichst erzielt werden, um einerseits ein stellungsgerechtes Verheilen der Bandfragmente zu ermöglichen, andererseits um zu vermeiden, daß durch eine stärkere Dislokatio ad axim die Schwingung der lateralen Kurvatur vermindert wird. Abduzierende Verbände begünstigen die axiale Dislokation besonders. Alle diese Gesichtspunkte sprechen für eine

aktive Therapie bei den lateralen Frakturen des Schlüsselbeines. Bei frühzeitiger und guter operativer Reposition kann sogar auf eine Naht des coracoclaviculären Bandes verzichtet werden. Die Methode der Wahl ist die Kirschnerdraht-Zuggurtung. Die Resektion des äußeren Segmentes zeigt schlechte Ergebnisse, da damit die Funktion des Schlüsselbeines entfällt, und das freie unstabile Claviculaende starke lokale Schmerzen bereitet. Auch bei den medialen Claviculafrakturen sollte die Indikation zur operativen Therapie großzügiger gestellt werden. Vielerorts werden als operative Indikation für Schlüsselbeinbrüche nur Gefäßnervenschädigungen, Trümmerfrakturen, Weichteilinterpositionen und Pseudarthrosen angesehen. Heutzutage sollte man aber in Anbetracht der neuen Operationsverfahren, der geringeren Infektionsgefahr und der besseren Infektionsbekämpfung den Indikationsbereich für ein operatives Vorgehen auch bei der typischen Claviculafraktur weiterfassen. Junge Menschen, die körperlich arbeiten müssen oder sich sportlich betätigen, sollten primär operativ versorgt werden, um eine Idealstellung mit optimaler Funktion des Schultergelenkes zu erreichen. In anderen Fällen sollte ein konservativer Therapieversuch abgebrochen und operiert werden, sobald die Retention mangelhaft erscheint, und die Fragmente eine der oben beschriebenen Dislokationsformen größeren Ausmaßes angenommen haben. Auszunehmen von der operativen Behandlung sind Kinder und mit einem zu hohen Operationsrisiko behaftete alte Menschen.

Die Überlegenheit der operativen Therapie von Claviculafrakturen wird durch eine klinisch-statistische Arbeit von Barlassina, Gariboldi und Martinoli aus dem Jahre 1960 bewiesen. Die Autoren zogen für die Arbeit 339 Claviculafrakturen heran, von denen 305 nach einem bis zehn Jahren nachuntersucht wurden. Die operativ versorgten Schlüsselbeinbrüche machten etwa 25 % der bearbeiteten Fälle aus. In dieser Untersuchung zeigten die mit einer Osteosynthese mittels offener Marknagelung versorgten Frakturen, obwohl es sich primär um stark dislozierte und Splitterbrüche gehandelt hatte, in der Nachuntersuchung eindeutig bessere Ergebnisse als diejenigen, die mit starrer Ruhigstellung oder elastischem Dauerzug behandelt worden waren. Die funktionellen Resultate waren bei der aktiven Therapie in 94,5 % der Fälle gut, in 4,1 % zufriedenstellend und in 1,4 % schlecht, während bei den konservativen Maßnahmen bei der starren Methodik nur in 74,6 % und der elastischen in 85,3 % die funktionellen Ergebnisse gut, in 21,6 % bzw. 7,6 % zufriedenstellend

und in 3,7 % bzw. 6,7 % schlecht ausfielen. Auch hinsichtlich einer aesthetischen Wiederherstellung des Schulterreliefs schnitt das operative Verfahren ähnlich günstig ab. Nur die Pseudarthrose- und neurovaskuläre Komplikationshäufigkeit war gegenüber der elastischen Zugmethode geringgradig erhöht.

Bei der acromioclaviculären Luxation kommt es zu einer völligen Durchtrennung der scapuloclaviculären Verbindung. Diese Verletzung muß für die Schulterbeweglichkeit, besonders für die Elevation des Armes, Konsequenzen haben. Wie schon erwähnt, werden 50 % der Skapularotationen allein durch die Rotation der Clavicula um die sagittale Achse im Sternoclaviculargelenk, das heißt durch Heben des Schlüsselbeines, erreicht. Dieser Mechanismus ist nun bei der totalen ACL.Luxation aufgehoben. Zwar können die Clavicula und auch die Skapula durch den Muskulus trapezius und levator scapulae noch gehoben werden, doch kommt es zu keinem gleichzeitigen Rotationseffekt der Skapula während der Elevation, da durch die vollständige Kontinuitätsunterbrechung zwischen beiden Knochen das Schlüsselbein nicht mehr als radiale Führungsstrebe für die Skapula wirken kann. Meist ist auch noch der Muskulus trapezius zwischen dem claviculären und acromialen Abschnitt ein-, der Deltoideus von der Clavicula abgerissen, sodaß noch die muskuläre Adaptation beider Knochen gelockert ist. Bei der ACL.Luxation ist aber nicht nur der Anteil der Skapularotation aufgehoben, der durch die Drehung der Clavicula im sternalen Gelenk hervorgerufen wird, sondern auch die Rotationsfähigkeit im acromialen Gelenk wird reduziert und abgeschwächt. Die Verrenkung hebt die Wirkung der oberen Zugkraft für die Drehung des Schulterblattes um die Sagittalachse im ACL.Gelenk auf. Der acromiale Trapeziusabschnitt kann nur dann zu einer Skapularotation führen, wenn er als sogenanntes antagonistisches Widerlager das Schlüsselbein zum Funktionspartner hat. Diese Konstellation besteht nun bei der ACL.Luxation nicht mehr, sodaß der Zug dieses oberen Trapeziusabschnittes nicht mehr zu einer Rotation, sondern nur noch zu einer Verschiebung der Skapula nach medial und cranial, das heißt zu einer Verkürzung der Schulter führen kann. Auch der Wirkungsgrad der unteren Skapularotatoren wird durch den Verlust des Dreh- und Stützpunktes abnehmen. Die veraltete Luxation, bei der wiederum durch Narbengewebe ein skapuloclaviculärer Konnex eingetreten ist, zeigt, wenn auch in geringer ausgeprägtem Maße,die gleichen Funktionsstörungen.

Durch das Zerreißen der Verbindungen zwischen Skapula und Clavicula verschiebt sich die Skapula aus ihrer normalen Ruheposition nach medial und caudal. Diese neue Position verändert die Beziehungen von Ansatz und Ursprung der Schultermuskulatur. Die vorn und unten angreifende Muskulatur erfährt eine Annäherung, die hinten und oben angreifende eine Verlängerung von Ursprung und Ansatz. Diese Relationsverschiebung führt zu einer muskulären Funktionsstörung, die meist aber nur temporär ist. Das Schlüsselbein ist bei der ACL.Luxation nicht mehr imstande, den speziellen Arbeitsbewegungen des Armes in der Ebene ventral von der vorderen Rumpfwand als Antagonist der Oberarmmuskulatur zu dienen. Daraus resultieren Unsicherheit und Kraftverminderung bei Arbeiten vor dem Körper. Wie schon erwähnt, reißen bei der ACL.Luxation meist auch die claviculären Insertionen vom Muskulus trapezius und deltoideus aus. Dort entwickelt sich ohne chirurgische Therapie später ein belastungsinsuffizientes Bindegewebe, das die mechanische Effektivität der Muskeln herabsetzen und zu Funktionseinschränkungen führen kann. Die Reihe der möglichen Funktionsschäden bei der ACL.Luxation ist beträchtlich. Neben den Störungen, die allein durch die Sprengung des Schultergürtels hervorgerufen werden, sind auch die Spätkomplikationen einer unbehandelten Luxation zu fürchten. Die Spätschäden sind eine Arthrose des ACL.Gelenkes und periarthritische Veränderungen, die schließlich in eine Versteifung des Skapulohumeralgelenkes einmünden.

Alle diese Tatsachen erheben die ACL.Luxation zu einem Krankheitsbild, das ohne adaequate Therapie die Leistung der Schulter mindert und evtl. über sekundäre Veränderungen sogar völlig aufheben kann. Während die Subluxation unter konservativen Maßnahmen oft ohne Beschwerden und Leistungsausfälle ausheilt, erfordert die vollständige ACL.Luxation ein aktiveres Vorgehen. Doch sollte man auch bei Arbeitern und Sportlern die Subluxation operativ angehen, indem man mit einem percutanen, transacromialen Kirschnerdraht das Repositionsergebnis temporär fixiert. Die totale Luxation sollte ausnahmslos operativ angegangen werden, um 1. die Gelenkverhältnisse bzw. den Discus inspizieren zu können, 2. Muskelabrisse beheben zu können und 3. eine anatomisch exakte Reposition und stabile Retention zu erhalten. Von den zahlreichen Operationsmethoden erscheinen die indirekten Verfahren am physiologischsten, die die Retention

durch Fesseln der Clavicula an das Coracoid gewährleisten. Diese Methoden alterieren das ACL.Gelenk nicht zusätzlich, greifen an einem mechanisch günstigen Punkt an, sodaß die Belastung des verwendeten Materials gering ist. Sie erlauben bei guter anatomischer Wiederherstellung und nicht eingeschränkter Beweglichkeit des ACL.Gelenkes durch therapeutische Maßnahmen eine ideale Kapsel- und Bänderheilung, sowie eine frühzeitige Übungsbehandlung. Ebenso wie die rein indirekten Operationsmethoden tragen die kombinierten Verfahren nach Steindler, Bunnell und Witt der Physiologie und Anatomie desSchultergelenkes am meisten Rechnung. Bei der coracoclaviculären Fascienumschlingung der indirekten und kombinierten Operationsarten muß aber darauf geachtet werden, daß die claviculare Fascienführung über das Maximum der lateralen Kurvatur gezogen wird, das heißt, daß sie möglichst genau dem physiologischen Bandverlauf entspricht. Anderenfalls muß mit einem Verlust der Elevationsfähigkeit gerechnet werden, und das Rekonstruktionsmaterial wird dann besonders stark belastet.

Frische ACL.Luxationen werden am besten nach der Methode von Bosworth mit einer Federkopfschraube nach Maatz temporär in Retention gehalten. Neben der Versorgung der Gelenkkapsel und des zerrissenen acromioclaviculären Bandes sollte auch versucht werden, die zerrissenen Teile des coracoclaviculären Bandes zu vernähen. Bei den veralteten Luxationen hingegen sollten die Operationsmethoden mit der coracoclaviculären Fascienumschlingung angewandt werden, da in diesen Fällen nur noch nicht zu vernähende Reste vom coracoclaviculärem Band vorhanden sind.

Die sternoclaviculäre Luxation führt nach der akuten schmerzhaften Bewegungseinschränkung zu Funktionsstörungen des Schultergürtels. Sie sollen im einzelnen nicht aufgezählt werden, da sie aus dem bisher Gesagten über die Funktion der Clavicula ersichtlich sind, und zumal es bei den sternoclaviculären Luxationen keine großen Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich konservativer oder operativer Therapie gibt. Die konservative Behandlung zeigt keine guten Ergebnisse, da eine Verbandstechnik eine einigermaßen stabile Fixation nicht gewährleistet. Bei der kompletten Luxation werden heute die Fascienplastik n.Steindler oder Bunnell angewandt. Schwere traumatische Läsionen des sternalen Claviculaköpfchens machen noch zusätzlich eine Arthroplastik nach Witt notwendig. Die Subluxation erfordert nach Reposition nur Kapsel-

raffnähte.

Das Studium der funktionellen Anatomie des Schultergelenkes zeigt uns, daß wir es hier mit einem sehr komplexen System aus Knochen, Gelenken, Verschieberäumen und Muskelformationen zu tun haben. Eine einwandfreie Funktion der oberen Extremität ist abhängig von der Intaktheit aller Elemente. In älteren Konzeptionen wurde die Articulatio scapulohumeralis als das wichtigste Gelenk angesehen. Dies ist ein rein anatomisches Kriterium, das gar nichts über den funktionellen Wert der anderen Gelenke aussagt. Wir wissen heute, daß die Bewegungen des Armes in der Schulter das Resultat einer synchronen und kontinuierlichen Aktion aller Schultergürtelgelenke ist. Ein Ausfall eines Gelenksystems kann durch die verbleibenden nicht kompensiert werden. Weiterhin ist jetzt bekannt, daß Muskelformationen eines Muskels im Bereich des Schultergürtels ganz verschiedene Aufgaben zu unterschiedlichen Zeiten erfüllen. Im Rahmen dieser dynamischen Betrachtungsweise zeigt sich auch die Funktion der Clavicula in einem neuen Licht. Sie ist nicht nur eine knöcherne Verstrebung, die den Schultergürtel vom Rumpf abhält, damit sich der Arm in der Sagittalebene frei bewegen kann. Ihre Anordnung im Schulterkomplex veranlaßt erst, daß der obere Trapezius neben einer Elevation der Schulter gleichzeitig die Skapula zu einem beträchtlichen Teil rotieren läßt. Ihr antagonistisches Widerlager läßt den acromialen Trapeziusabschnitt an der Schulterblattdrehung im ACL. Gelenk teilhaben. Weiterhin ermöglicht sie den Adduktoren, Flexoren und Innenrotatoren des Oberarmes eine zielgerechte und kraftvolle Funktion. Ihre Eigendynamik gestattet es, daß trotz einer entwicklungsgeschichtlich bedingten Doppelverbindung zwischen Clavicula und Skapula die Skapula um sie rotieren kann. Ihre Form und Gelenkkonstellation mit je einem Discus in beiden Gelenken weisen darauf hin, daß sie zusätzlich noch ein federndes Puffersystem zwischen oberer Extremität und dem Rumpf darstellt.

Diese Erkenntnisse erweitern die Bedeutung des Schlüsselbeines von einer rein statischen Halte- und Führungsaufgabe zu einem dynamischen Funktionssystem für die obere Extremität. Gleichzeitig fordern sie von der Therapie der Claviculaverletzungen ihre Berücksichtigung.

Eine vollkommene Wiederherstellung der Funktionen des Schlüsselbeines entspricht bei den Luxationen und lateralen Frakturen einer anatomischen Rekonstruktion. Auch Fehlstellungen anderer Bruchlokalisationen vermindern je nach Art und Ausmaß, wie in diesem Kapitel ausgeführt wurde, oft eine volle Funktionsfreiheit des Schultergürtels. Deshalb sollten ganz allgemein größere Dislokationen nach vorne und unten, sowie stärkere Verkürzungen vermieden werden. Infolge der Unzulänglichkeit konservativer Maßnahmen, diese Forderungen immer zu erfüllen, sollten Claviculaverletzungen häufiger operativ behandelt werden. Schlüsselbeinverletzungen nehmen in der traumatologischen Praxis einen großen Raum ein, und bei der allgemein guten Prognose sind funktionelle Spätschäden prozentual gering. Doch wenn man die Zahl der Spätkomplikationen absolut sieht, erscheint eine großzügigere Indikation zur Operation von Claviculaverletzungen angezeigt.

LITERATUR

Abott,C.a.Lucas,D. — The function of the clavicle, its surgical significance
Ann.Surg. 140 (4) 1954

Bako,G. — Operative Behandlung von Schlüsselbeinbrüchen
Zbl. f. Chirurgie 39 1965

Benninghoff-Goerttler — Lehrbuch der Anatomie des Menschen
9. Auflage

Berlassina,G. Gariboldi,C. — Considerazioni clinico-statistiche sul Trattomento delle Fratture della Clavicola
Arch.ital.Chir. 86 1960

Bodrogie,J. Hangos,G. — Zur operativen Behandlung der Clavikulafrakturen
Zbl. f. Chir. 86 1961

Bürkle de la Camp, Schwaiger,M. — Handbuch der gesamten Unfall-Heilkunde

Caritat,R. EL Hombro — La clavicula sus funciones, Indicaciones de su extirpacion
Arch.urug. med. 35 1949

Cotta,H. — Die kindliche Clavicula Pseudarthrose
Mschr.Unfallheilkunde 62 1959

Cotta,H. — Die operative Behandlung traumatischer Schäden des Acromioclaviculargelenkes

Crone-Münzebrock,A. — Zur Behandlung der Claviculafrakturen
Chirurg 30 1959
Heft der Unfallheilkunde 75 1962

Ewerwahn,J.W. — Zur Behandlung des Schlüsselbeinbruches
Mschr. Unfallheilkunde 66 1963

Fick — Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke

Gaertner,W. — Ergebnisse operativer und konservativer Schlüsselbeinbehandlung
Zbl. f. Chir. 80 1954

Hafferl,A. — Lehrbuch der topographischen Anatomie

Huc,G. und Oberthur,H. — Ceinture scapulaire
aus Traite de chirurgie orthopaedique
Publié par L.Ombredanne et P.Mathieu

Inman,V.T.a.Saunders,M. Abott,C. — Observations of the function of the shoulder joint
J. of Bone a.Joint Surg. 26 1944

Inman,V.T.a.Saunders,M. — Observations on the function of the clavicle
California Med. 65 1946

Kempf,F.K.u.Schultze,R. — Funktionelle Behandlung von Frakturen am Schultergürtel
Arch.f.orthop.u.Unfall-Chirurgie 64 1968

Knöfler,H. — Die Möglichkeit einer partiellen Claviculaplastik
Mschr.Unfallheilkunde 66 1963

Küntscher,G. — Die Marknagelung gelenknaher Brüche
Mschr. Unfallheilkunde 58 1955

Lange,M. — Orthopädische-Chirurgische Operationslehre

Lange,M. — Lehrbuch der Orthopädie und Traumatologie

Lanz,v.T.u.Wachsmuth,W. — Praktische Anatomie

Lorenz,D. — Besondere Befunde bei der operativen Behandlung frischer und veralteter Verrenkungen im Acromio-Claviculargelenk
Mschr. Unfallheilkunde 65 1962

Meitner,E.R. Über die funktionelle Causalität der Clavicula
Anat.Anz. 107 1959

Mollier,S.A.E. Über die Statik und Mechanik des menschlichen Schultergürtels unter normalen und pathologischen Verhältnissen
Festschrift zum 70.Geburtstag von Kupffer's
Jena,Fischer 1899

Moseley,H.F. The clavicle : Its anatomy and function
Clin.orthop. 58 May-june 1968

Müller, Allgöwer und Willeneger Manual der Osteosynthese, AO-Verfahren

Mumford,E.B. Acromioclavicular Dislokation - a new operative treatment

Neers,C.S. Fractures of the Distal Third of the Clavicle
Clin.orthop. 58 1968

Neers,C.S. Nonunion of the clavicle
Jama 172

Nicols,H. Anatomic structures of the Thoracic Outlet
Clin.orthop. 51 1967

Otto,E. Anwendung der Maatz'schen Federkopfschraube bei der Luxation der Clavicula
Heft der Unfallheilkunde 55 1952

Orofino,C.F.a.Stein,A.H. Operative treatment for recent and complete tears of the coracoclavicular ligaments
American Journal of Surg. 1953

De Palma ,A.F. Surgery of the shoulder
1950

Petrokov,V. Die acromioclaviculare Luxation
Beiträge zur klinischen Chirurgie 199

Rowe,C.R. An atlas of anatomy and treatment of midclavicular fractures
Clin.orthop. 58 1968

Schautz,R.u.Wilhelm,A. Zur Osteosynthese der Claviculafraktur
Chirurg 34 1963

Schuppler,V. Die Behandlungsarten des Schlüsselbeinbruches
Die Behandlungsergebnisse des Schlüsselbeinbruches
Arch.f.orthop.u.Unf.Chirurgie. 35 1935

Schüttemeyer,W.und Sommerkamp,H. Konservative oder operative Behandlung der Claviculafrakturen?
Mschr. Unfallheilkunde 65 1962

Sobotta,J. Deskriptive Anatomie

Strater,P. Über Verletzungen der Clavicula und ihre Behandlung
Chirurg 28 1957

Usadel,G. Die Behandlung der Schultereckverrenkung mit Kopfwärtsverlagerung des Schlüsselbeines
Ergebnisse der Chirurgie 33

Wanke,Maatz,Junge u.Lentz Knochenbrüche und Verrenkungen
2. Auflage

Wehner,W. Die heutige Behandlung von Claviculafrakturen
Dt.Ges.Wiss. 18 1963

Witt,A.N.u.Cotta,H. Die operative Wiederherstellung der Clavicula und ihrer Gelenke
Chirurg.Praxis 1958

Zuber,L. Zur operativen Behandlung der Luxatio acromioclavicularis
Zbl.f.Chirurgie 8 1967

BILD Nr. 1	entnommen aus dem"Lehrbuch der Anatomie des Menschen" von Benninghoff-Goerttler
BILD Nr. 2 und Nr.3	entnommen aus dem Lehrbuch "Traite de Chirurgie Orthopaedique" von L.Ombredanne und P.Mathieu
BILD Nr. 4, Nr.6 u.Nr.7	entnommen aus dem Buch "Knochenbrüche und Verrenkungen" von Wanke, Maatz, Junge und Lentz
BILD Nr. 5	entnommen aus dem Buch "Fractures, Dislocations and Sprains" von Key and Conwell
BILD Nr. 8	entnommen aus der "Orthopädischen-Chirurgischen Operationslehre" von Max Lange Ergänzungsband: "Neueste Operationsverfahren"
BILD Nr. 9	entnommen aus dem "Manual der Osteosynthese" von Müller, Allgöwer und Willeneger

Die Röntgenaufnahmen wurden im Röntgeninstitut des Rudolf-Virchow-Krankenhauses hergestellt (Ärztlicher Direktor Priv.-Doz.Dr. Witt).

Wolfgang Heß

1 Berlin 33
Koenigsallee 81

L e b e n s l a u f

Geboren wurde ich, Wolfgang Heß, als Sohn des Arztes Dr.med. Joachim Heß und seiner Ehefrau Eva Heß, geb. Wilkens, am 23. Juli 1944 in Hahnenklee Bockswiese.

Von 1950 - 54 besuchte ich die Grundschule in Berlin Wannsee. 1954 wechselte ich auf die Schadow-Schule OWZ und begann mit Latein als erster Fremdsprache. Als zweite Fremdsprache folgte Englisch, als dritte Griechisch. 1963 legte ich dort das Abitur ab und begann das Studium der Humanmedizin an der FU Berlin. 1965 absolvierte ich an der FU das Physikum, 1969 das Staatsexamen. 1969 heiratete ich Ingrid Galke.

Nach Abschluß des Studiums war ich als Medizinalassistent auf der Orthopädischen Abteilung des Rudolf Virchow Krankenhauses, anschließend auf der Inneren Abteilung des Städt. Krankenhauses Moabit und an der Chirurgischen Klinik Westend beschäftigt. Von Juli 1970 bis April 71 arbeitete ich als Assistenzarzt auf einer Neurologischen Station der Neuropsychiatrischen Klinik Waldhaus Nikolassee. Seit Mai 71 bin ich Assistent am Anaesthesiologischen Institut des Klinikum Westend.

Druck: Dissertationsdruckstelle, 1 Berlin 33, Garystr. 45